

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

**DIMENSIONAMENTO E OTIMIZAÇÃO LOCACIONAL
DE UNIDADES DE EDUCAÇÃO INFANTIL**

DÉBORA DA SILVA LOBO

TESE SUBMETIDA À
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
DOUTOR EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ORIENTAÇÃO: Profa. Dra. Mirian Buss Gonçalves

FLORIANÓPOLIS
2003

**DIMENSIONAMENTO E OTIMIZAÇÃO LOCACIONAL
DE UNIDADES DE EDUCAÇÃO INFANTIL**

DÉBORA DA SILVA LOBO

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de
DOUTOR EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO e aprovada em sua forma
final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.
Coordenador do Programa

Banca Examinadora:

Prof.ª Mirian Buss Gonçalves, Dra.
Orientadora

Prof.ª Elizabeth Belfort Moren, Phd.

Prof.ª Lourdes M. W. de Almeida, Dra.

Prof.ª Joana B. de Oliveira Quandt,
Dra.

Prof. João Carlos Souza, Dr.

Prof. Rutsnei Schmitz, Dr.

Florianópolis, 11 de julho de 2003.

*Aos meus pais,
exemplos de amor.
Aos que vão chegar.*

AGRADECIMENTOS

À professora Mirian Buss Gonçalves pela orientação e confiança.

Aos professores membros da banca examinadora Elizabeth Belfort Moren, Lourdes Maria Werle de Almeida, Joana B. de Oliveira Quandt, João Carlos Souza e Rutsnei Schmitz pelas contribuições apresentadas para a melhoria deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção que contribuíram para o enriquecimento dos meus conhecimentos. Em particular, aos professores João Carlos Souza e Sérgio Fernando Mayerle pela generosidade em compartilhar.

Aos funcionários das bibliotecas consultadas, pessoas que muito ajudam para o desenvolvimento de uma tese.

Aos colegas de pós-graduação, em particular Elizabeth, Oneida e Cynara, pelas muitas horas trabalhadas juntas.

Aos apoios computacionais Arinei e Luigi, que deram uma boa diminuída nas inúmeras madrugadas varadas.

Aos amigos e familiares que estavam comigo em mais esta etapa.

Aos que passaram pela minha vida e deixaram suas marcas.

A Deus, pela coragem que me deu para enfrentar as perdas durante a pós-graduação e seguir em frente.

Às mulheres fortes da minha vida, apoio e proteção em qualquer momento, exemplos a serem seguidos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE GRÁFICOS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii

Capítulo 1 – Introdução	01
1.1. Apresentação do tema	01
1.2. Motivação	02
1.3. Relevância e Contribuição do trabalho	03
1.4. Objetivo Geral	04
1.5. Objetivos Específicos	04
1.6. Estrutura do Trabalho	05

Capítulo 2 – Educação Infantil	06
2.1. Histórico Mundial	06
2.2. Histórico da Educação Infantil no Brasil	09
2.3. A Educação Infantil no campo jurídico	11
2.4. A Educação Infantil no cenário internacional	14
2.5. A Educação Infantil no Brasil	15
2.6. A Importância da Educação Infantil	18

Capítulo 3 – Dimensionamento	21
3.1. Introdução	21
3.2. Regulamentações	22
3.3. Preferências dos usuários do sistema	24
3.4. Dimensionamento de uma unidade de educação infantil	29
3.5. Dimensionamento do sistema de educação infantil	33
Capítulo 4 – Modelos de Localização-Alocação	34
4.1. Introdução	34
4.2. Histórico de Problemas de Localização	34
4.3. Problemas de Mediana	37
4.4. Problemas de Centro	40
4.5. Problema de Cobertura de Conjuntos	43
4.6. Diagramas de Voronoi	45
4.6.1. Histórico	46
4.6.2. Conceitos de diagramas de Voronoi	47
4.6.2.1 – Diagramas de Voronoi Ordinários	47
4.6.2.2 – Diagramas de Voronoi Ponderados	50
Capítulo 5 – Metodologia Proposta	58
5.1. Apresentação	58
5.2. Pesquisa de Preferência Declarada	59
5.3. Simulação	59
5.4. Dimensionamento das unidades	64
5.5. Dimensionamento do sistema	65
5.6. Localização das unidades	66
5.7. Áreas de abrangência	67

Capítulo 6 – Aplicação e Resultados	69
6.1. Apresentação	69
6.2. Aplicação	69
6.2.1. Pesquisa de Preferência Declarada	70
6.2.2. Simulação Numérica	81
6.2.3. Dimensionamento das unidades	83
6.2.4. Dimensionamento do sistema	86
6.2.5. Localização das unidades	88
6.2.6. Áreas de abrangência	98
6.3 Resultados	99
 Capítulo 7 – Conclusões e Recomendações	 108
7.1. Conclusões	108
7.2. Recomendações para trabalhos posteriores	109
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 111
 ANEXOS	 121
1. Listagem dos grupos de cartões da pesquisa de preferência declarada	
122	
2. Resultados obtidos na simulação numérica	124
3. Análise da sensibilidade do dimensionamento à variação de valores	
125	
3.1 – Resultados obtidos variando apenas os valores de salários	125
3.2 – Resultados obtidos variando os valores de salários, material de limpeza e alimentação	126
3.3 – Resultados obtidos variando os valores de salários, material de limpeza, material pedagógico e alimentação	127
4. Listagem do cálculo dos pesos dos setores censitários	128

5. Resultados das coordenadas e dos pontos alocados a elas	131
6. Programa de determinação dos diagramas de Voronoi	138
6.1 – Listagem do programa	139
6.2 – Tela de entrada de dados do programa para determinação dos diagramas de Voronoi	141
7. Soma dos pesos da mediana e dos setores a ela alocados	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Instituições por dependência administrativa	15
Tabela 2.2: Número de Matrículas por dependência administrativa	16
Tabela 2.3: Matrículas por região geográfica	17
Tabela 3.1: Relação entre número de crianças e professor	23
Tabela 6.1: Resultado obtido nas entrevistas com os pais sobre os atributos importantes para uma unidade de educação infantil.	72
Tabela 6.2: Dados sócio-econômicos da população entrevistada.	73
Tabela 6.3: Valores utilizados nos custos.	82
Tabela 6.4: Alguns resultados da simulação.	83
Tabela 6.5: Alocação dos setores pelas medianas.	95
Tabela 6.6: Situação do sistema de educação infantil em Cascavel.	100
Tabela 6.7: Ordem de implementação das unidades de educação.	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1: Região de domínio e fronteira, respectivamente, região interna e lados dos polígonos	48
Figura 4.2: Diagrama de Voronoi ordinário com 10 geradores.	49
Figura 4.3: Diagrama de Voronoi multiplicativamente ponderado, com os respectivos pesos dos geradores.	53
Figura 4.4. Possibilidades de fronteira no diagrama de Voronoi aditivamente ponderado.	54
Figura 4.5: Exemplo de diagrama de Voronoi aditivamente ponderado com seis pontos geradores e seus respectivos pesos.	55
Figura 4.6: Diagrama de Voronoi de potência aditivamente ponderado com dez pontos geradores e suas regiões de domínio.	56
Figura 5.1: Fluxograma da proposta de tese.	58
Figura 6.1: Localização da mesoregião oeste e do município de Cascavel no estado do Paraná	70
Figura 6.2: Exemplos de cartão	77
Figura 6.3: Entrada de dados no programa LMPC.	78
Figura 6.4: Resultados obtidos pelo pacote LMPC.	80
Figura 6.5: Gráfico obtido com os dados simulados e sua aproximação polinomial.	84
Figura 6.6: Esboço do gráfico da função quadrática	84
Figura 6.7: Imagem de Cascavel com seus setores censitários.	89
Figura 6.8: Associação dos setores com os pesos.	90
Figura 6.9: Tabela com informações de setores e pesos.	91
Figura 6.10: Etapa de cálculo das 46 medianas.	92
Figura 6.11: Localização das 46 medianas obtida pelo programa.	93
Figura 6. 12: Localização das 46 medianas nos setores censitários.	94

Figura 6.13: Alocação dos setores pelas medianas.	97
Figura 6.14: Divisão da região por Diagramas de Voronoi	99
Figura 6.15: Localização das unidades municipais de educação infantil existentes.	102
Figura 6.16: Localização das 25 medianas e das 25 UEI existentes.	104

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1: Número de Instituições por dependência administrativa.	16
Gráfico 2.1: Número de matrículas por dependência administrativa.	17

RESUMO

Para o serviço de educação infantil existe pouca regulamentação. Esta inexistência acarreta unidades de educação infantil com cenários muito diferentes dentro do mesmo sistema. Neste trabalho busca-se determinar um dimensionamento adequado para as unidades de educação, respeitando os anseios dos usuários, e sugerir uma forma de localizá-las na área de estudo, utilizando modelos de p-medianas e diagramas de Voronoi.

Para determinar as características relevantes de uma unidade na visão dos usuários foram utilizadas técnicas de preferência declarada. Esta resposta foi incorporada a um modelo, resolvido através de simulação numérica, que resultou em um dimensionamento ótimo para uma unidade de educação infantil com 150 crianças.

Com o dimensionamento de uma unidade e conhecendo os dados da região objeto de estudo, é possível determinar o dimensionamento do sistema para tal região. Pode-se, então, buscar a distribuição espacial ótima dessas unidades de educação usando o modelo de p-medianas.

Para a aplicação do modelo de p-medianas são utilizados os setores censitários da região estudada como candidatos. Para comporem os pesos destes candidatos são utilizados dados sócio-econômicos, tais como renda familiar, o sexo do chefe familiar e sua situação de alfabetização. Como muitos setores têm contornos não convexos é feito um refinamento dos resultados. Para isto é utilizada a metodologia de diagramas de Voronoi.

ABSTRACT

Little legislation for children education has generated kindergarten with very different sceneries in a same system. This work tries to determine an appropriate measurement to the kindergarten units, respecting the users needs, and it is suggested a way to place them in the area of study, using p-median and Voronoi diagram.

In order to determine the relevant characteristics of a unit in the view of its users, it was used the techniques of stated preference. The answers were placed in a model by numerical simulation, which resulted in an good measurement for a kindergarten with 150 children.

With the measurement of a unit and with data of the region in study it is possible to determine the measurement of the system for such region. Then, propose a ideal spatial distribution using p-median model.

For the application of the p-median model it was used the census blocks of the studied region like candidates. To compose the weights of these candidates it was used socioeconomic data, such family income, the Sex of the head of the family and their literacy situation. Because many sections have not convex borderlines it was make a refinement of the results it was used the Voronoi diagram.

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

1.1 – Apresentação do tema

Mudanças ocorridas nas últimas décadas provocaram a necessidade de expansão do serviço de educação infantil. Pouca regulamentação existe para o setor, levando a existência de unidades de educação atendendo 20 crianças, outras atendendo 200. No desenvolvimento deste trabalho busca-se determinar um dimensionamento adequado para estas unidades e sugerir uma forma de localizá-las na região estudada.

Dentre as mudanças ocorridas podem ser citadas, por exemplo, que o número de lares cujos chefes são mulheres em 1970 (IBGE, 1973) era de, aproximadamente, 8%. Este número aumenta para aproximadamente 25% nos resultados já apresentados pelo censo demográfico de 2000 (IBGE, 2002a; IBGE, 2002b). Em 1970, das mulheres que tinham filhos, apenas 11% eram economicamente ativas (IBGE, 1973). Este número aumentou para 20% em 1980 (IBGE, 1982) saltando para aproximadamente 59% em 1995 (IBGE, 1995).

Estas mudanças de comportamento levaram a uma alteração das necessidades de serviços disponíveis para a população. Dentre os serviços que passaram a ser importantes encontram-se as unidades de educação

infantil, ou seja, locais em que as crianças em idade pré-escolar (0 a 6 anos) passam seus dias enquanto suas responsáveis estão no mercado de trabalho.

1.2 – Motivação

O crescente aumento do número de mulheres como chefes de família, como já citado, unido a percentuais como 17,8% das crianças de 0 a 4 anos e 71,9% das crianças de 5 e 6 anos freqüentando uma unidade de educação no país, como registrados no último censo demográfico (IBGE,2002d), acrescido ainda à informação de que 56,9% das crianças de 0 a 6 anos de idade vivem em lares com responsáveis mulheres que ganham até dois salários mínimos por mês (IBGE,2002c), justificam a necessidade de estudos sobre locais onde estas crianças devem permanecer recebendo uma atenção integral.

Por atenção integral podem ser considerados aspectos sociais, nutricionais, médicos e educacionais, por exemplo. Em vista disto, muitos estudos estão sendo feitos nas áreas pedagógica e de saúde, principalmente.

A lacuna existente para a área quantitativa motivou o desenvolvimento deste estudo. Nele serão utilizadas, quando necessário, as informações qualitativas das outras áreas da ciência sobre unidades de educação infantil.

1.3 Relevância e Contribuição do Trabalho

Nas pesquisas bibliográficas feitas foram encontrados poucos trabalhos voltados para a análise da localização, ou da satisfação, ou do dimensionamento de um sistema de educação. Em particular para o segmento de educação infantil foi encontrado apenas o trabalho de Lobo (1998) e Lobo e Gonçalves (2001) sobre localização de unidades de educação infantil em Florianópolis.

Em contrapartida, há muitos estudos mostrando a importância da frequência da criança a uma unidade de educação infantil. Com a permanência em uma unidade de educação, a criança, ao receber uma atenção adequada, tem maior possibilidade de sucesso ao ingressar no ensino fundamental (UNESCO, 1996) do que as crianças que não tiveram acesso a esse tipo de serviço (Silva et alli, 1989). Esse fato é importante para o sistema educacional, pois uma redução de custos com a repetência pode ser produzida, além de possibilitar uma redução das diferenças socioculturais para famílias de baixa renda (UNESCO, 1995).

Portanto, um trabalho que utilize métodos matemáticos para determinar resultados sobre o dimensionamento de uma unidade de educação infantil, ou seja, determinar um número ótimo de crianças que devem ser atendidas por unidade de educação, e determine, matematicamente, o número total de unidades do sistema que devem ser implantadas e suas localizações é importante e inovador.

Desta forma, espera-se que os resultados obtidos ao final deste trabalho possam contribuir para que pesquisadores de outras áreas embasem ou aprimorem suas pesquisas, além de possibilitar ao poder público uma melhor política de investimentos em educação infantil.

1.4 Objetivo Geral

O objetivo geral é desenvolver uma metodologia matemática que permita dimensionar e localizar unidades de educação infantil, respeitando a legislação vigente referente ao assunto.

1.5 Objetivos Específicos

- Quantificar, através de técnicas estatísticas, a visão e a expectativa dos usuários do sistema estudado.
- Fazer uma análise qualitativa destes resultados.
- Desenvolver um algoritmo para simular os custos de funcionamento de uma unidade de educação infantil e encontrar um bom dimensionamento para a mesma.
- Dimensionar o sistema de educação infantil para uma determinada área urbana.
- Localizar espacialmente estas unidades de educação.
- Encontrar as áreas de abrangência das unidades determinadas anteriormente.

1.6 Estrutura do Trabalho

No capítulo 1 é feita uma apresentação do trabalho mostrando a motivação que levou ao desenvolvimento do mesmo, sua relevância e contribuição, bem como seus objetivos.

No capítulo 2 é apresentado um histórico da educação infantil no cenário internacional e nacional e são citados alguns trabalhos sobre a importância desta etapa no amadurecimento da criança.

No capítulo 3 são apresentadas algumas regulamentações sobre educação infantil e também são feitas considerações sobre as preferências dos usuários, que servirão de base para o dimensionamento de uma unidade de educação infantil.

No capítulo 4 são citados alguns modelos de localização-alocação que permitirão determinar a distribuição espacial das unidades de educação em uma determinada região a ser estudada.

No capítulo 5 está apresentada a metodologia proposta e desenvolvida neste trabalho.

A aplicação desta metodologia, bem como os resultados obtidos, são apresentados no capítulo 6.

As conclusões e as recomendações para trabalhos futuros são apresentadas no capítulo 7, seguidas das referências bibliográficas citadas no decorrer do trabalho.

Capítulo 2 - EDUCAÇÃO INFANTIL

2.1 – Histórico Mundial

Há registros deixados por Platão, datados de 400 A.C., aproximadamente, referentes à educação infantil. Ela era ministrada na própria casa e objetivava a formação da criança como futura cidadã. No entanto, estes registros não se referem à forma como era ministrada esta educação, nem mencionam as necessidades específicas da criança.

No início do século XVII, Comenius (moraviano, tcheco, 1592-1670) escreveu uma obra intitulada *Escola da Infância*, onde incentivava a experiência de crianças com brinquedos e objetos concretos para a aquisição de conhecimentos. Comenius defendia que a infância era um dos períodos do desenvolvimento humano. No entanto, suas idéias não repercutiram positivamente, não sendo aceitas na época (Rizzo, 1989). Só um século depois é que se volta a ver a criança como um ser em aprendizagem.

Neste intervalo a Igreja exerceu forte influência na educação infantil pregando que a criança deveria ser disciplinada com rigor, pois nascia pecadora e deveria ser guiada para o bem. Em seguida, Jean Jacques Rousseau (suíço, 1712-1778) pregou exatamente o contrário. A criança nascia boa e o meio é que lhe proporcionava vícios, portanto deveria ser deixada absolutamente livre (Rizzo, 1989). Além disto, Rousseau pregava que a infância deveria ser mais estudada para uma melhor compreensão da mesma, possibilitando assim, uma melhor orientação da criança.

Um pouco mais de um século depois de Comenius, Pestalozzi (suíço, 1746-1827), influenciado por algumas idéias de Rousseau, volta a conceber que a criança é um ser em formação. Pestalozzi pregava que cada criança deveria ser bem observada para uma melhor orientação do seu processo individual de crescimento. Ele defendia, entre outras coisas, que o processo de aprendizagem se dava através dos sentidos, devendo a criança mexer em objetos concretos para, de fato, conhecê-los. Apesar de Pestalozzi defender que a educação devesse ser feita em casa foi ele quem mais influenciou Frederic Frobel (alemão, 1782-1852).

O alemão Frobel, apesar de influenciado por Pestalozzi, foi muito além e desenvolveu princípios próprios para a educação. Não se concebe um desenvolvimento histórico da educação infantil sem passar por Frobel. Acreditando na potencialidade inata do homem, ele, em 1837, criou o primeiro jardim-de-infância. Neste jardim as crianças participavam de atividades lúdicas, das mais simples às mais complexas (Rizzo, 1989). A metodologia foi desenvolvida, intuitivamente, por Frobel e hoje faz parte do conhecimento da psicologia do aprendizado.

Muitos jardins-de-infância foram implantados na Alemanha por discípulos de Frobel até 1851, quando foram fechados pelo governo com medo das idéias liberais que pregavam. No entanto, jardins-de-infância foram criados na Inglaterra e nos EUA por discípulos de Frobel que fugiram do governo autoritário alemão (Rizzo, 1989), o que permitiu uma continuação e expansão das idéias de Frobel. A metodologia desenvolvida por Frobel ainda é usada em muitas escolas infantis pelo mundo.

Com a Revolução Industrial surgem, em paralelo com os jardins-de-infância, as creches. A jornada de trabalho com um número excessivo de horas, podia chegar a 16 horas por dia, proporcionou o surgimento das chamadas *criadeiras*, em vários países como França, Itália e Bélgica. As criadeiras ficavam com as crianças cujas mães estavam trabalhando nas

fábricas. No entanto, as condições de saúde e alimentação eram péssimas levando muitas crianças à morte. Este fato levou à criação da primeira instituição oficial francesa, em 1844, por Firmim Marbeau (Rizzo, 1989), para proporcionar um melhor atendimento às crianças, evitando que morressem nas mãos das criadeiras. Em 1889, a França já possuía quase 300 destas unidades de atendimento (Kuhlmann, 1998). Em 1854, foram criadas as primeiras creches em Portugal e nos EUA (Santana, 1998).

Outro estopim para a criação de creches foi a Segunda Guerra Mundial. A Inglaterra, que em 1939 possuía apenas 100 creches, em 1945, ao final da Guerra, possuía 1500 unidades com metodologia de trabalho influenciada por Frobel. Os EUA, no ano de 1941, chegou a oferecer 1 milhão e 600 mil vagas para a educação infantil (Santana, 1998).

A expansão da educação infantil entre os séculos XIX e XX deve-se muito às exposições internacionais. Estas exposições ocorreram em muitas cidades da Europa e das Américas permitindo, entre outras coisas, a divulgação da criação de instituições de educação infantil (creches e jardins-de-infância) em vários países. A diferenciação da instituição era dada pela origem social e faixa etária das crianças que iriam frequentar. A influência das exposições na criação de novas instituições é justificada pelo fato de sempre haver grupos específicos para discussão sobre educação popular e políticas assistencialistas.

A educação popular estava ligada à assistência, pois, na época, havia um alto índice de mortalidade infantil. Em concomitância, foram feitos muitos avanços nos conhecimentos das origens das doenças e como evitá-las. Com isso muitos médicos estavam voltados para a política educacional. Isto levou às instituições possuírem um caráter médico-higienista.

Além das exposições internacionais, que abordavam temas variados, também ocorriam exposições sobre temas específicos. Entre estas exposições específicas ocorreram exposições sobre educação, na Bélgica (1880), no Brasil (1883) e na Inglaterra (1884) (Kuhlmann, 1998).

2.2 – Histórico da Educação Infantil no Brasil

A Exposição Pedagógica do Rio de Janeiro de 1883 centralizou-se na educação infantil. No entanto, a tentativa de implantação de jardins-de-infância para atender as crianças oriundas de classes menos favorecidas não encontrou terreno fértil. O que houve foi um investimento para atrair as famílias ricas para as vantagens dos jardins, inclusive diferenciando bem das creches que existiam em outros países voltadas para a classe pobre (Kuhlmann, 1998).

Esta atitude é justificada pois desde 1875, no Rio de Janeiro, e desde 1877, em São Paulo, já existiam escolas privadas de educação infantil, seguindo uma linha froebiana, para atendimento das crianças das elites. Só em 1896 foi criada a primeira escola pública de educação infantil que, no entanto, acabou servindo aos filhos dos burgueses de São Paulo.

A primeira instituição voltada para o atendimento das classes menos favorecidas data de 1899. Foi o Instituto de Proteção e Assistência à Infância, com sede no Rio de Janeiro, mas que em pouco tempo abriu filiais por todo o país. Durante vinte anos foram sendo criadas novas instituições assistencialistas de caráter médico-higienista. Muitas ficaram sob a tutela da Igreja que justificava sua participação pela larga experiência em assistencialismo.

Além dos médicos, os juristas também estavam envolvidos com a questão da educação infantil. Isto se justifica pela preocupação com a

legislação trabalhista. A primeira creche vinculada a uma empresa data de 1899. Assim como esta, muitas foram criadas depois pela iniciativa dos próprios empresários, já que por mais pressão que os trabalhadores fizessem a legislação ficava apenas na promessa.

Nos anos 20 e 30 do século XX, os trabalhadores intensificaram as reivindicações, mas só conseguiram uma legislação em 1943, a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). Infelizmente, era uma lei com muitas brechas e muito pouco divulgada. Então, mesmo quando a empresa estava dentro dos requisitos obrigatórios para a oferta de lactário, não o fazia. Outra situação que retrata a falta de conhecimento era a empresa oferecer o espaço, e as operárias acharem que se tratava de benevolência do empresário (Santana, 1998).

As creches voltam a aumentar em número nas décadas de 60 e 70. Entre os principais fatores que podem ser citados dois serão destacados. O primeiro, diz respeito ao empobrecimento de boa parte da população, o que levou a criação de novas creches de caráter assistencialista e higienistas para melhorarem as condições de vida das crianças das classes mais pobres, tendo assim uma função social. O segundo diz respeito a entrada da mão-de-obra feminina no mercado de trabalho. Este fator merece um pouco mais de atenção.

Ao analisar o número de mulheres economicamente ativas no início da década de 60 e no final da década de 70 é possível ter uma idéia da mudança social. O cálculo da taxa de atividade feminina, calculada por Wajnman e Rios-Neto (1994), possibilita uma melhor compreensão do que está sendo tratado. A taxa é calculada da seguinte maneira:

$$\text{TAF} = \frac{\text{número de mulheres economicamente ativas com mais de 10 anos}}{\text{número de mulheres com mais de 10 anos}}$$

Com base nos censos demográficos esta taxa, em 1960, era de 16,6%, passando para 26,9% no ano de 1980. A mulher inserida no mercado de trabalho acabou por influenciar uma mudança na função das creches, pois a classe média passou a ser usuária destas instituições. Surgiram muitas creches particulares e com função educacional, já que estudos paralelos estavam sendo feitos sobre a influência da creche no desenvolvimento da criança.

Começa, então, uma nova fase na educação infantil brasileira. Os governos passam a ter que atuar diretamente, construindo e administrando creches públicas (Amorim; Rosssetti-Ferreira, 1999). Além disso, no final da década de 80 o Brasil passa a ter leis regulamentando a educação infantil.

2.3 – A Educação Infantil no Campo Jurídico

Como já foi citada, a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) de 1943, em seu artigo 389 garante um local para a permanência de bebês até 6 meses, visando a amamentação na própria empresa onde a mãe trabalha. No entanto, a própria lei, em seu artigo 396, abre brechas quando só torna esta oferta obrigatória se a empresa tiver mais de 30 mulheres empregadas, além de permitir a manutenção de convênios da empresa com instituições infantis.

Pessoas que trabalham com educação ou transporte sabem que a distância entre a instituição onde a criança vai ficar e sua residência ou o local de trabalho de sua mãe deve ser a menor possível, até mesmo pelo impacto que estes deslocamentos podem provocar no sistema viário de uma cidade. No entanto, a CLT não determina qual deve ser a distância entre a empresa e a creche conveniada. As alterações sofridas pela CLT em 1967 não mudaram este panorama.

Para exemplificar pode ser citada uma pesquisa feita pela Delegacia do Trabalho de Santa Catarina (Creche, 1982, *apud*. Santana, 1998) que revela serem exatamente os problemas relacionados a distância e deslocamento os principais fatores para mães não usarem vagas disponíveis em creches conveniadas com suas empresas.

As Leis de Diretrizes e Bases da Educação Nacional vão gradativamente reconhecendo a educação infantil. A LDB de 1961 (Brasil, 1961), em seu artigo 23 reconhece as escolas maternas e os jardins-de-infância e no artigo 24 sugere o estímulo à criação de instituições de educação infantil pelas empresas. A LDB de 1971 (Brasil, 1971) em seu artigo 17, parágrafo segundo, diz:

“Os sistemas de ensino velarão para que as crianças de idade inferior recebam convenientemente educação em escolas maternas, jardins e instituições equivalentes.”

O verbo utilizado é o velar, que é sinônimo de vigiar, preocupar-se ou interessar-se. Até então não foram atribuídas responsabilidades. Somente com a Constituição Brasileira de 1988 (Brasil, 1989) é que isto começa a acontecer.

A Constituição de 1988 em seu artigo 7º, inciso XXV, garante como **direito** do trabalhador *“a assistência gratuita aos filhos de até seis anos em creches e pré-escolas”*. Dentro do capítulo destinado à Educação são apresentados novos artigos garantindo como dever do Estado o atendimento para crianças menores de 6 anos em creches e pré-escolas (artigo 208, inciso I); e determinando, em seu artigo 211, parágrafo segundo, que os Municípios é que atuarão em programas de educação pré-escolar.

A Constituição de 1988, pela primeira vez garante direitos à criança. Isso foi uma conquista dos movimentos feministas através do Conselho Nacional dos Direitos da Mulher (Campos et alli, 1993). Outro ponto importante foi a colocação destes direitos dentro do capítulo da Educação. Com isto a tendência seria acabar com o caráter assistencialista das creches.

Para reforçar esta idéia a Lei de Diretrizes e Bases da Educação de 1996 (Brasil, 1996) mantém a garantia do atendimento gratuito em creches e pré-escolas (artigo 4º, inciso IV) e a responsabilidade do Município com a educação infantil (artigo 11, inciso V). Além disso, a LDB determinou, em seu artigo 89, que todas as creches e pré-escolas deveriam estar inseridas no sistema educacional até dezembro de 1999.

Na prática, este artigo 89, determinou que as creches não poderiam mais estar vinculadas às Secretarias de Ação Social, ou similares, e deveriam pertencer às Secretarias de Educação. O objetivo disto seria acabar com o assistencialismo das creches. A própria LDB de 1996 (Brasil, 1996) ainda determina que os funcionários das creches devem ser qualificados com pelo menos o Ensino Médio – Magistério até 2007, devendo se inserir em cursos superiores de Pedagogia.

A educação infantil também é foco de interesse de organismos internacionais preocupados com o desenvolvimento da criança desde seu nascimento.

2.4 – A Educação Infantil no Cenário Internacional

Com o final da Segunda Guerra Mundial foram criadas instituições internacionais como o UNICEF (Fundo das Nações Unidas para a Infância), criado em 1946, e a UNESCO (Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura), criada em 1945, ambas vinculadas à Organização das Nações Unidas (ONU). O objetivo do UNICEF era prestar atendimento imediato às crianças dos países que foram devastados pela Segunda Guerra Mundial (Kramer, 1992), e o da UNESCO promover a paz e os direitos humanos. Com o decorrer dos anos, as instituições foram diversificando suas áreas de atuação.

A partir da década de 60, o UNICEF e a UNESCO ampliaram suas atuações voltadas para a infância (Kramer, 1992). Foi o reconhecimento da criança como futura cidadã de um país, portanto um ser necessitando de uma atenção especial.

O UNICEF hoje atua em todos os continentes, num total de 160 países, desenvolvendo programas voltados para a infância nas áreas de saúde, nutrição e educação, entre outras (UNICEF, 2000). O objetivo destes programas é proporcionar um crescimento e desenvolvimento psico-social e cognitivo saudável nas crianças.

A UNESCO, por sua vez, tem o objetivo de contribuir nas políticas de promoção do desenvolvimento da educação, da ciência e da cultura (UNESCO, 2000), pois acredita que esta forma é estratégica para o progresso da cidadania e do bem estar social. Hoje possui 188 países membros e desenvolve muitos programas educacionais, entre eles muitos voltados para a educação infantil.

2.5 – A Educação Infantil no Brasil

A educação infantil vem aumentando seus números de instituições e crianças atendidas pelo mundo e também no Brasil. As informações sobre educação infantil passaram a fazer parte dos relatórios oficiais e dos censos educacionais.

Uma mostra da evolução dos números da educação infantil brasileira foi feita por Nascimento (Nascimento, 1999) para anos entre 1987 e 1997. Alguns desses dados - juntamente com informações mais recentes (Inep, 2000) - são apresentados nas próximas tabelas, seguidas de algumas considerações.

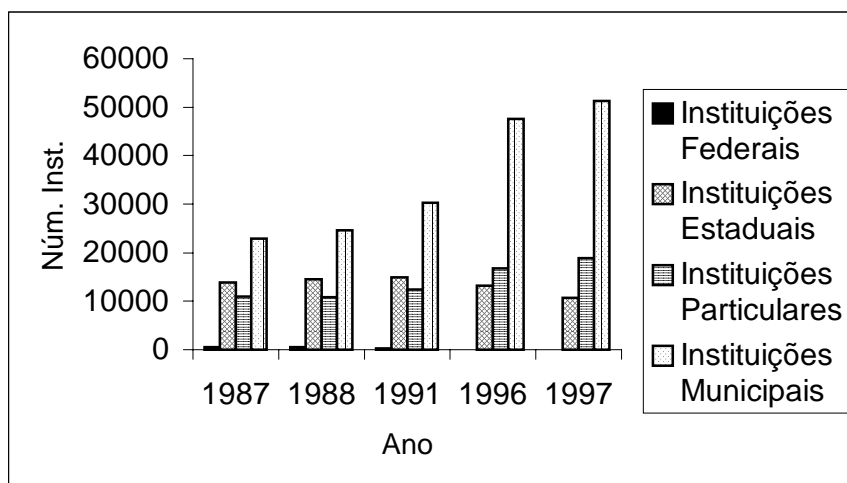
As tabelas 2.1 e 2.2 apresentam, respectivamente, o número de estabelecimentos de educação infantil e o número de crianças matriculadas nesses estabelecimentos, conforme a dependência administrativa, para todo o Brasil.

Tabela 2.1: Instituições por dependência administrativa

	Instituições Federais	Instituições Estaduais	Instituições Municipais	Instituições Particulares	Total
1987	495	13.907	22.840	10.954	48.196
1988	481	14.588	24.579	10.822	50.470
1991	217	14.960	30.222	12.443	57.842
1996	56	13.271	47.602	16.811	77.740
1997	35	10.703	51.323	18.900	80.961

Fonte: Nascimento, 1999.

Gráfico 2.1: Número de instituições por dependência administrativa.



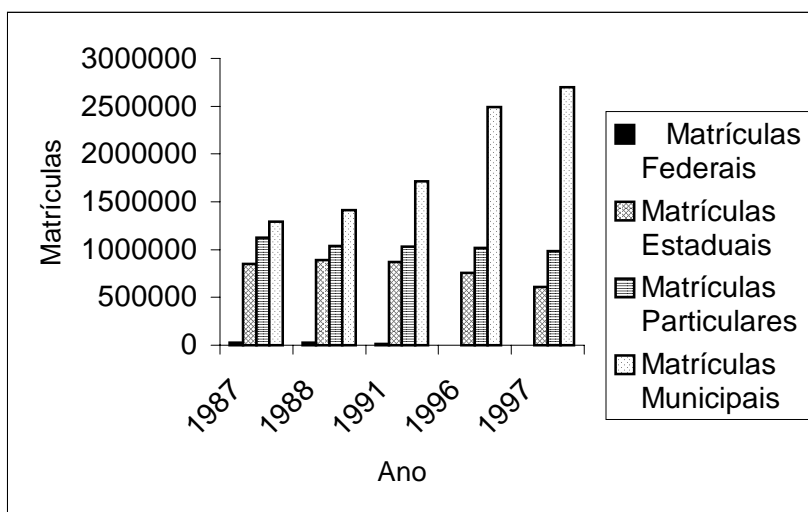
Analisando-se a tabela 2.1 em conjunto com o gráfico 2.1 é possível observar que o número de estabelecimentos estaduais e federais decresceram, este último consideravelmente. Por outro lado, o número de instituições municipais cresceu 124,7% do ano de 1987 a 1997. Isso é um reflexo da tendência mundial, que se concretizou com a LDB de 1996 (Brasil, 1996), de municipalizar a educação infantil.

Tabela 2.2: Número de Matrículas por dependência administrativa

	Matrículas Federais	Matrículas Estaduais	Matrículas Municipais	Matrículas Particulares	Total Matrículas
1987	29.068	852.568	1.290.446	1.121.781	3.293.863
1988	28.415	891.924	1.414.201	1.041.294	3.375.834
1991	15.058	872.730	1.711.032	1.029.465	3.628.285
1996	2.477	759.187	2.489.225	1.019.487	4.270.376
1997	2.025	606.858	2.695.893	987.432	4.292.208

Fonte: Nascimento, 1999.

Gráfico 2.2: Número de matrículas por dependência administrativa.



Analisando-se a tabela 2.2 em conjunto com o gráfico 2.2 observa-se o decréscimo do número de crianças atendidas pelos sistemas federal e estadual, justificado pela diminuição destes. Para o sistema privado é possível notar um decréscimo do número de crianças e, ao se comparar com a tabela 1, nota-se que isto acontece apesar do aumento de estabelecimentos privados. Isto é justificado pelo fato de, em 1997, 70,5% do total das instituições trabalharem com no máximo 50 crianças. O mais importante é que o número de crianças atendidas no total cresceu consideravelmente, pois foram absorvidas pelo sistema municipal. Este cresceu, em número de matrículas, 108,9% no decorrer dos anos apresentados.

A tabela 2.3 apresenta o número de matrículas nos estabelecimentos separados por regiões geográficas para os anos de 1997 e 2000.

Tabela 2.3: Matrículas por região geográfica

	1997	2000	Variação
Norte	325.400	354.986	9%
Nordeste	1.407.013	1.558.563	11%
Centro-Oeste	226.194	298.112	32%
Sudeste	1.840.383	2.024.687	10%
Sul	493.218	723.878	47%
Brasil	4.292.208	4.960.226	16%

Fonte: Nascimento, 1999 e Inep, 2000.

A análise da tabela 2.3 permite observar um aumento do número de crianças atendidas em todas as regiões geográficas do país, com um aumento significativo na região sul.

No geral, os dados apresentados reforçam as observações feitas no decorrer deste capítulo de mudança no comportamento social, necessitando de novos serviços. Além disto, este aumento do número de crianças atendidas possibilita uma melhoria na qualidade de suas vidas (Kassouf, 1999; Faria, 1999). Um pouco sobre esta importância é apresentado a seguir.

2.6 – A Importância da Educação Infantil

Os primeiros seis anos de vida são fundamentais para o desenvolvimento do ser humano, mas este também é o período de maior vulnerabilidade (UNESCO, 1997), tornando-se assim um período crucial. Nesta fase, a saúde, nutrição e o desenvolvimento psico-fisiológico são determinantes para o futuro escolar da criança. Isto levou a UNESCO a considerar a educação infantil como parte integrante da educação básica e

um fator essencial para se alcançar a Educação para Todos (UNESCO, 1995).

Este é o resultado do fórum internacional de Jomtien, de 1990, promovido pela UNESCO, onde foi escrita a Declaração Mundial de Educação para Todos. Nesta declaração foi instaurada a década da educação onde se pretendia que se aumentasse o acesso a educação nos países. No Brasil os trabalhos começaram em 1993, em parceria entre a UNESCO e o Ministério da Educação, mas a Década da Educação brasileira só foi instaurada em dezembro de 1996, com a promulgação da nova LDB.

Pode-se analisar a educação infantil como importante não só para a criança, como também para os pais e para o sistema educacional. A permanência da criança em uma instituição possibilita a seus pais flexibilidade para trabalhar, sabendo que a criança estará sendo bem atendida em suas necessidades nutricionais, de saúde, psicológicas e pedagógicas.

A criança, por sua vez, além da atenção que estará recebendo, possibilitando um desenvolvimento físico e mental adequado, terá mais chances de sucesso ao ingressar no ensino fundamental (UNESCO, 1996). No Brasil, na cidade de Fortaleza, foi desenvolvida uma pesquisa neste sentido (Silva et alli, 1989), ou seja, comparar o rendimento escolar na 1ª série do ensino fundamental de crianças que tiveram acesso à educação infantil e as que não tiveram, obtendo como resultado um melhor aproveitamento das primeiras.

Essa possibilidade de melhoria torna-se importante para o sistema educacional, pois possibilita que a educação fundamental seja mais eficiente, reduzindo custos com repetência, reduzindo também as diferenças socioculturais, principalmente para crianças de famílias de baixa

renda (UNESCO, 1995). Para o Brasil em particular, este é um fator muito importante, pois a 1ª série apresenta um alto índice de evasão e repetência. O acesso à educação infantil pode possibilitar uma mudança nesse quadro reduzindo custos, e possibilitando que crianças de baixa renda entrem em condições de igualdade com crianças de outras classes sociais.

Portanto, o incentivo à educação infantil é mais do que justificado. Uma forma para equacionar os investimentos, atendendo a necessidade de oferta e otimizando a disponibilidade de recursos disponíveis é a proposta metodológica que será desenvolvida neste trabalho.

No capítulo seguinte será apresentado um embasamento para dimensionar uma unidade de educação infantil.

Capítulo 3 - DIMENSIONAMENTO DE UNIDADES DE EDUCAÇÃO INFANTIL

3.1 – Introdução

Para o desenvolvimento de um modelo matemático que permita equacionar as variáveis envolvidas em uma unidade de educação infantil, é necessário determinar como ela deve estar estruturada. Para isto, não só as regulamentações oficiais devem ser consideradas, como também as experiências diárias em unidades de educação públicas e privadas, consideradas de referência. Isto se justifica, pois faltam resoluções em algumas áreas específicas, como por exemplo alimentação, para a educação infantil.

Neste capítulo será feita uma delimitação para estas questões de modo que ao final se tenha uma boa quantidade de dados que possam ser tratados matematicamente, e contribuam para a elaboração de uma proposta metodológica consistente. Serão utilizados para isto a legislação vigente e o levantamento de dados por pesquisa direta quando não houver outra forma de obtenção dos dados. Técnicas de preferências dos usuários serão utilizadas para fazer uma análise da visão dos mesmos sobre o sistema de educação infantil.

3.2 – Regulamentações

Com a Lei de Diretrizes e de Bases da Educação Nacional de 1996 (Brasil, 1996) as instituições de educação infantil passaram a ser parte do sistema de ensino municipal, estadual ou do sistema único de educação básica (artigos 10 e 11). O respectivo sistema deveria normatizar formas para funcionamento e credenciamento das unidades, considerando as diretrizes estabelecidas pela União.

Em um documento posterior (Brasil, 1998), feito para auxiliar os Conselhos de Educação na elaboração das normas, é apresentada uma proposta de regulamentação. Esta proposta será tomada como base para a extração de alguns dados numéricos, dentre os que são apresentados como recomendação, que serão aproveitados no desenvolvimento deste trabalho. Vale ressaltar que os Conselhos de Educação (Estaduais ou Municipais) não necessariamente seguiram o modelo apresentado para a parte numérica, buscando valores que diminuíssem os custos.

O documento orienta que a relação entre número de crianças atendidas por professor siga a distribuição apresentada na tabela 3.1.

Além disto, este documento recomenda que a área mínima coberta seja de 1,50m² por criança na sala onde fará suas atividades. No entanto, para área externa não apresenta uma regulamentação específica, o mesmo acontecendo para alimentação.

Tabela 3.1: Relação entre número de crianças e professor

Faixa Etária	Crianças / Professor
0 a 1 ano	6 a 8 crianças
1 a 3 anos	8 a 10 crianças
3 a 5 anos	12 a 15 crianças
5 a 6 anos	20 a 25 crianças

Fonte: Brasil, 1998.

A alimentação só passou a ser garantida para a educação infantil nos estabelecimentos públicos com o Plano Nacional de Educação (Brasil, 2001). O PNE apresenta muitos outros objetivos dos quais podem ser destacados o fornecimento de materiais pedagógicos adequados por faixa etária (meta 13) e a adoção progressiva de atendimento em tempo integral para as crianças de 0 a 6 anos (meta 18). Porém, o PNE não faz especificações mínimas quanto ao material pedagógico e à alimentação. Para a utilização destes fatores no modelo matemático desenvolvido foi necessária a adoção de uma média dos parâmetros reais utilizados por unidades de educação infantil.

Outra meta importante do PNE para o desenvolvimento deste trabalho diz respeito à ampliação da oferta de vagas na educação infantil objetivando atender 30% da população de 0 a 3 anos e 60% da população de 4 a 6 anos no período de 5 anos (meta 1). Complementando que no período de 10 anos estes percentuais devem chegar a 50% e 80%, respectivamente.

Estes dados são relevantes para a elaboração de um modelo matemático, pois permitem utilizar estes percentuais no dimensionamento do público alvo do serviço a ser oferecido.

Além das regulamentações nacionais, também é interessante considerar as preferências dos usuários do sistema, que são as famílias das crianças atendidas.

3.3 – Preferências dos usuários do sistema

A determinação das preferências dos usuários é importante para incorporar esta informação na análise e solução do problema estudado. As preferências são as ações dos usuários diante de um conjunto de opções disponíveis. Existem métodos matemáticos variados para a obtenção das informações relevantes junto aos usuários de um serviço. As técnicas de preferência revelada e de preferência declarada são métodos bastante utilizados.

As técnicas de preferência revelada buscam obter as decisões reais tomadas pelos usuários diante de um serviço a ser analisado. Para isso podem ser utilizados métodos como entrevista aos usuários sobre a utilização recente ao serviço, ou observação direta do comportamento dos usuários. Dentre as limitações apresentadas por estas técnicas (Kroes e Sheldon, 1988) podem ser citadas a possibilidade de correlação entre as variáveis estudadas, a dificuldade de análise do impacto de mudanças em variáveis qualitativas e a dificuldade de identificar as possíveis decisões aos usuários diante de situações novas.

Portanto, para alguns tipos de análise, como mudanças no serviço oferecido, ou implantação de um serviço desconhecido, estas técnicas tornam-se pouco eficazes.

Por outro lado, as técnicas de preferência declarada tornam-se atrativas, pois são mais flexíveis (Kroes e Sheldon, 1988). Elas permitem analisar situações não necessariamente existentes e identificar as

características relevantes para os usuários no serviço estudado. Podem ser usadas em estudos de marketing, por exemplo, para analisar o impacto da introdução de um novo produto no sistema.

Com as técnicas de preferência declarada é possível identificar a importância relativa de cada característica frente as outras. Isto possibilita uma posterior configuração do serviço mais próxima dos anseios dos usuários. Como desvantagem, estas técnicas apresentam o fato dos usuários não necessariamente virem a fazer o que disseram que fariam.

Ainda assim, para o desenvolvimento deste trabalho, estas técnicas apresentam-se mais adequadas. Pois, como já citado, é possível analisar o comportamento dos usuários diante de um cenário diferente do real. Desta forma, determinam-se as características do serviço que são de fato relevantes para o usuário, mas que ainda não estão implementadas. Estes resultados podem ser interpretados e incorporados no dimensionamento de uma unidade de educação infantil.

Técnicas de Preferência Declarada

Matematicamente, pode-se definir técnicas de preferência declarada como sendo uma família de técnicas que estimam uma função utilidade a partir das respostas individuais sobre a preferência dos entrevistados (Kroes e Sheldon, 1988). Este conjunto de opções pode ser hipotético, mas deve ser realista, permitindo aos entrevistados imaginá-los com facilidade (Almeida e Gonçalves, 2001).

A pesquisa consiste dos três passos básicos: elaboração, execução e análise. Na etapa de elaboração devem ser definidos os atributos do serviço que serão estudados e analisados no experimento, bem como quantos níveis cada um destes atributos deverá conter. A determinação

destes atributos pode ser feita através de uma pesquisa prévia junto aos usuários, ou ser fruto da experiência dos pesquisadores. A complexidade do experimento cresce conforme aumenta o número de atributos e seus níveis. O número total de alternativas do experimento também está relacionado com o número de atributos e níveis, sendo uma combinação destes valores.

Quando o número total de alternativas é muito grande, é possível reduzi-lo, utilizando o fatorial fracionário. Neste caso apenas algumas das combinações possíveis são apresentadas aos entrevistados. Caso esta forma ainda contenha um número grande de alternativas, é possível dividi-los em grupos menores obtidos por técnicas de confundimento ou de blocos incompletos balanceados ou parcialmente balanceados, que serão apresentados aos entrevistados na etapa da execução.

Na etapa de elaboração faz-se ainda necessário determinar a forma de apresentação das alternativas aos entrevistados. Um método muito utilizado, devido a facilidade de elaboração e ao custo não muito elevado, é apresentar as alternativas em forma de cartões contendo os atributos e níveis. A confecção destes cartões requer bastante atenção pois devem conter informações claras, precisas e de fácil compreensão para os entrevistados.

Na etapa de execução o entrevistado deve ser bem esclarecido sobre o procedimento que executará com o conjunto de cartões que lhe é apresentado. Há três maneiras de se obter a informação da preferência do entrevistado. Este pode eleger uma das alternativas apresentadas como a melhor, chamada de *choice*; pode avaliar as alternativas dando notas, chamada de *rating*; ou pode ordenar as alternativas por preferência, chamada de *ranking*.

A obtenção das preferências por ordenamento, *ranking*, é bastante utilizada (Almeida e Gonçalves, 2001; Lima e Gonçalves, 2001 e Schmitz et alli, 1999) e será adotada no desenvolvimento deste trabalho. O trabalho desenvolvido por Camargo e Gonçalves (2000) verificou que o ordenamento é a metodologia menos cansativa para os entrevistados nas condições apresentadas. Nesse método os blocos incompletos de cartões são apresentados de forma aleatória e o entrevistado os ordena a partir da alternativa que mais lhe agrada e lhe desperte maior utilidade. O número de alternativas apresentadas varia conforme a situação trabalhada. Em geral, este número fica entre cinco e nove cartões. Quanto mais cartões são apresentados aos entrevistados mais complexo fica o ordenamento dos mesmos, mas o número pode ser alterado de acordo com a população alvo.

Na etapa de análise de dados é feita a calibração dos coeficientes de uma função utilidade. A função utilidade é uma quantificação matemática das preferências (satisfação) do usuário. Este fica satisfeito ao utilizar um serviço que apresente características que ele considere importante e que lhe seja útil.

Ao fazer o ordenamento das alternativas apresentadas o usuário dará prioridade as que lhes parecerem mais atrativas relativamente as outras. Portanto, a função utilidade expressa matematicamente as preferências dos usuários. Geralmente é usada uma forma linear aditiva como segue.

$$U_{in} = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{ink} + \varepsilon_{in} \quad (3.1)$$

onde, U_{in} é a utilidade da alternativa i para o indivíduo n ;

X_{ink} é o valor do atributo k para a alternativa i para o indivíduo n ;

β_k é o coeficiente do modelo para o atributo k ;

K é a quantidade de atributos das alternativas e

ε_{in} é a parcela aleatória da função utilidade da alternativa i para o indivíduo n .

Admitindo-se que o termo aleatório da função utilidade seja regido por uma distribuição tipo *Gumbel* (Almeida, 1999), chega-se ao modelo Logit Multinomial (Bem Akiva e Lerman, 1985) que pode ser escrito como:

$$P_n(i) = \frac{e^{\beta_k X_{ink}}}{\sum_{j \in C} e^{\beta_k X_{jnk}}} \quad (3.2)$$

onde $P_n(i)$ é a probabilidade da alternativa i ser escolhida pelo indivíduo n dentro de um conjunto de possibilidades C .

Para pesquisas com ordenamento das alternativas, para o ajuste dos dados pode-se usar o Modelo Logit Multinomial Explodido.

$$P_n(1,2,...,J) = \prod_{i=1}^{J-1} \frac{e^{\beta X_{in}}}{\sum_{j \in C} e^{\beta X_{jn}}} \quad (3.3)$$

onde, C é o conjunto de possibilidades de escolha das alternativas;

$P_n(1,2,...,J)$ é a probabilidade de se obter como ordem de classificação a alternativa 1 sendo preferida a 2, esta preferida a 3, e assim sucessivamente.

Este modelo é normalmente calibrado pelo procedimento de maximização da função de verossimilhança.

Quando feitas N observações, ordenadas de forma decrescente de preferência por cada entrevistado, a função de verossimilhança é dada pela equação (3.4).

$$L^*(\beta) = \prod_{n=1}^N \prod_{i=1}^{J-1} \frac{e^{\beta X_{in}}}{\sum_{j \in C} e^{\beta X_{jn}}} \quad (3.4)$$

Os resultados estimados para os parâmetros vão permitir uma análise dos interesses dos usuários, além de permitirem uma análise comparativa entre as características relevantes do serviço. Estes resultados podem ser importantes ao se analisar o dimensionamento das unidades.

3.4 – Dimensionamento de uma unidade de educação infantil

Com as informações obtidas pela pesquisa de preferência delacrada torna-se possível formular um problema de custos de uma unidade de educação infantil respeitando as regulamentações existentes, as experiências de escolas consideradas modelos e, principalmente, buscando priorizar os resultados obtidos com a pesquisa de preferência declarada.

Na primeira tentativa de otimização buscou-se desenvolver um problema de programação linear objetivando a minimização do custo médio mensal por criança de uma unidade de educação sujeita a algumas restrições baseadas nas regulamentações e nas escolas modelos.

Como custos da função objetivo foram considerados os custos com salários de professores e funcionários, os gastos com alimentação, material de limpeza e material pedagógico.

Como restrições foram consideradas as relações entre número de crianças atendidas por professor por faixa etária, sugeridas aos Conselhos de Educação pelo Ministério da Educação e Desporto (Brasil, 1998); a quantidade adequada de material pedagógico por faixa etária, uma das metas do Plano Nacional da Educação (Brasil, 2001); a alimentação básica orientada por nutricionistas; a relação do número de funcionários de manutenção necessários por área; e a área mínima coberta por criança, também sugestão do Plano Nacional de Educação.

Como para alimentação não há uma regulamentação tomou-se como base documentos elaborados por nutricionistas (Graboski, 1996) e usados nas secretarias municipais de Curitiba e Cascavel no ano de 2000, e os resultados apresentados por Silva (1998).

Em termos matemáticos pode-se começar a esboçar este problema da forma apresentada a seguir.

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } \overline{\text{Custo}} \\
 & \text{sa} \\
 & \frac{N_1}{8} \leq P_1 \leq \frac{N_1}{6} \\
 & \frac{N_2}{10} \leq P_2 \leq \frac{N_2}{8} \\
 & \frac{N_3}{15} \leq P_3 \leq \frac{N_3}{12} \\
 & \frac{N_4}{25} \leq P_4 \leq \frac{N_4}{20} \\
 & N = \sum_{i=1}^4 N_i \\
 & N_i > 0, \quad \forall i \\
 & P_i \geq 2, \quad \forall i
 \end{aligned}$$

onde, i são as quatro faixas etárias da tabela 3.1,

N_i é o número de crianças atendidas na faixa etária i ,

P_i é o número de professores da faixa etária i e

$$\overline{\text{Custo}} = \frac{\text{Salários} + \text{Alimentação} + \text{Manutenção} + \text{Mat. Pedag.}}{n} \quad \text{é o}$$

custo médio por criança.

Com os dados da tabela 3.1 obteve-se os intervalos para a determinação do número de professores.

Este esboço do problema já tornava a função objetivo não linear, uma vez que o número de crianças é uma variável. Além disto, a função é descontínua. Um pequeno acréscimo do número de crianças pode provocar um salto grande nos custos se ele implicar em aumentar o número de professores. Este mesmo acréscimo pode não provocar alteração significativa nos custos se estas crianças forem aceitas em classes de faixa etária com vagas disponíveis mantendo o mesmo número de professores. A descontinuidade depende do cenário de distribuição das crianças pelas diversas faixas etárias. Um exemplo de possibilidade de descontinuidade é apresentado a seguir.

Exemplo:

Suponha que uma unidade de educação tenha 50 crianças participando e estejam assim distribuídas pelas faixas etárias:

7 crianças de 0 a 1 ano,

8 crianças de 1 a 3 anos,

15 crianças de 3 a 5 anos e

20 crianças de 5 a 6 anos.

Suponha que por algum motivo a demanda de vagas aumente em 2.

Se essas duas crianças novas tiverem 2 anos, por exemplo, não é necessário mudar em nada a configuração dos profissionais. Ao consultar-se a tabela 3.1, é possível observar que na faixa etária de 1 a 3 anos uma mesma professora pode atender até 10 crianças. O mesmo aconteceria se em vez de 2 anos essas crianças tivessem 6 anos. No entanto, se essa nova demanda de vagas fosse de crianças de 4 anos, seria necessário aumentar o número de professores, e o número de salas. Isto provocaria um salto nos custos.

Diante disto, optou-se pelo caminho da simulação numérica para resolver este problema.

Para formular o problema de custos, foi desenvolvido um algoritmo que simulou várias configurações de número de crianças e professores, obtendo para cada uma destas configurações um custo médio mensal por criança. Neste algoritmo foram inseridos os custos e as restrições citados anteriormente na tentativa de elaborar um problema de programação linear e buscando respeitar os resultados obtidos com a pesquisa de preferência declarada. Então, um dimensionamento adequado para uma unidade de educação infantil pode ser obtido.

Desta forma, o planejamento do dimensionamento de uma unidade de educação infantil pode contribuir não só orientando para o tamanho da instalação, ou seja, o número de crianças atendidas, como possibilita considerar a preferência dos pais no planejamento através dos resultados obtidos pela pesquisa de preferência declarada.

3.5 – Dimensionamento do sistema de educação infantil

Dimensionada uma unidade de educação, o dimensionamento do sistema pode ser feito usando esta informação em conjunto com a meta 1 do Plano Nacional de Educação (Brasil, 2001). Esta meta determina que 30% da população de 0 a 3 anos e 60% da população de 4 a 6 anos devem ser atendidas em unidades de educação infantil até 2006. Esta informação juntamente com dados demográficos da localidade onde se pretende aplicar o modelo desenvolvido permitem estimar o número de unidades para atender a população da região.

Para determinar a localização espacial destas unidades de educação, bem como suas áreas de abrangência, faz-se necessária a utilização de modelos matemáticos de localização. Alguns dos modelos clássicos são apresentados no capítulo seguinte.

Capítulo 4 - MODELOS DE LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO

4.1 – Introdução

Problemas de localização de facilidades dizem respeito a encontrar o lugar “ideal” para a implantação ou ampliação de uma determinada facilidade utilizando algum modelo matemático apropriado. A natureza da facilidade pode diferir em essência, podendo-se ter serviços emergenciais ou serviços de rotina. Os objetivos de cada tipo de serviço não são os mesmos, necessitando então de modelos matemáticos adequados.

Neste capítulo serão apresentados um breve histórico sobre problemas de localização e uma revisão de alguns dos modelos matemáticos clássicos para resolução deste tipo de problema, com citações de trabalhos importantes ou recentes de cada uma das metodologias. Para finalizar apresenta-se a metodologia matemática que será usada neste trabalho.

4.2 – Histórico de Problemas de Localização

Há registros de estudiosos nos séculos XVII, XVIII e XIX buscando encontrar o ponto de distância mínima até outros pontos conhecidos (Cooper, 1963). No entanto, o histórico dos problemas de localização apresenta o trabalho de Alfred Weber como o pioneiro da era moderna. Ele publicou seu trabalho em 1909, em alemão, que foi traduzido para o inglês

vinte anos depois (Weber, 1929, apud Okabe, Boots, Sughiara, 1995). Este trabalho visava a localização de uma indústria, buscando a minimização dos custos de transporte da matéria prima e também dos custos até o mercado consumidor. Somente a partir da década de 60, com o avanço da computação e da programação matemática, é que este tipo de problema passou a ser amplamente focalizado.

Um dos pioneiros a trabalhar com problemas de localização e alocação de facilidades foi Leon Cooper (Cooper, 1963; 1964; 1967). Seu primeiro trabalho (Cooper, 1963) apresenta um método matemático para encontrar a melhor solução para o problema de localização de facilidades. Além da localização são determinados o número de facilidades a serem instaladas bem como a cobertura das soluções encontradas. Por cobertura entende-se a área de abrangência de cada facilidade instalada, ou seja, o conjunto de localidades alocadas a cada facilidade.

Outro trabalho da década de 60 é de Teitz e Bart (1968). Eles investigaram as possibilidades de se encontrar a mediana de um grafo ponderado, propondo então um método que obteve bons resultados em comparação com os que até então tinham sido realizados. Ainda nesta década há trabalhos como o de Roth (1969) que propõe um algoritmo computacional para a solução de problemas de cobertura; ou o de Garfinkel e Nemhauser (1970) que propõe um algoritmo para encontrar as soluções ótimas considerando os distritos e a população de cada um deles.

Há ainda trabalhos como o de ReVelle et al. (1970) que mostrou a necessidade de formas diferentes para se trabalhar com localização de facilidades públicas ou privadas, devido a dificuldade de quantificar monetariamente valores sociais; ou o trabalho de ReVelle e Swain (1970) sobre localização de facilidades centrais.

Na década de 70 também houve muita produção. Há trabalhos como de Wesolowsky e Love (1971) que usava distância retangular para encontrar a localização de novas facilidades, considerando a já existência de outras; ou o de Toregas et al. (1974) que buscava a localização de facilidades emergenciais usando cobertura de conjuntos.

Os trabalhos anteriores são bastante clássicos, sendo importante a referência a algum deles em trabalhos de localização de facilidades. Eles podem ser considerados alicerces para o desenvolvimento e as formas de trabalho diversas que se seguiram para problemas de localização.

Muitos outros ainda da década de 70 podem ser citados. Entre eles o trabalho de Walker (1974) para a localização de postos de bombeiros usando cobertura de conjuntos; ou o de Wagner e Falkson (1975) que considera a função de demanda como sendo elástica para localizar facilidades públicas; o trabalho de Davies e Thomas discorre sobre o mesmo assunto (1976).

Na busca de quantificar a equidade e eficiência para um melhor planejamento da localização de facilidades públicas surgem trabalhos como o de McAllister (1976), ou o trabalho de Bach (1980) que apresenta uma classificação dos modelos matemáticos de localização dependendo do tipo de facilidade a ser instalada, mas considerando os conceitos de oportunidade e acessibilidade.

O avanço computacional ocorrido nas décadas de 80 e 90 permitiram o desenvolvimento de trabalhos visando a resolução de problemas de grande porte como o de Beasley (1987), e a utilização de algoritmos genéticos para a resolução dos problemas de localização, como o trabalho de Beasley e Chu (1996).

Na década de 90, a metodologia de diagramas de Voronoi passa a ser utilizada para estudar a localização de facilidades. O trabalho de Rezende et alli (2000) é um exemplo disto. Foi aplicado para a cidade do Rio de Janeiro para determinar as áreas de abrangência dos hospitais públicos.

Seguem algumas formulações matemáticas mais comumente utilizadas para resolver problemas de localização.

4.3 – Problemas de Mediana

Os problemas de mediana consistem em encontrar a localização para um número específico e pré-determinado de facilidades a serem instaladas. O objetivo é a minimização da distância média percorrida até a facilidade, ou do custo médio de viagem, ou do tempo médio de viagem.

Formulação Matemática

Para trabalhar com medianas em geral considera-se um grafo não direcionado $G(N,A)$ com n nós. Toma-se um inteiro p e escolhe-se um conjunto de p pontos do grafo, indicado por X_p . Indica-se por $d(X_p, j)$ a distância mínima entre qualquer elemento de X_p e o nó j do grafo G . Ou seja,

$$d(X_p, j) = \min_{x_i \in X_p} \{d(x_i, j)\} \quad (4.1)$$

Um conjunto X_p^* de pontos do grafo G é dito um conjunto de p -medianas de G se para todo $X_p \in G$ tem-se:

$$J(X_p^*) \leq J(X_p) \quad (4.2)$$

onde,

$$J(X_p) = \sum_{j=1}^n h_j d(X_p, j) \quad (4.3)$$

A variável h_j representa um peso atribuído ao nó j e pode representar, por exemplo, a demanda deste nó.

Um resultado conhecido como Teorema de Hakimi é um facilitador para problemas de mediana. O teorema garante, para o problema clássico de mediana, a existência de pelo menos um conjunto de p -medianas nos nós do grafo G (Larson; Odoni, 1981)(Christofides, 1975).

Este resultado ajuda os planejadores pois pode limitar a análise aos nós. Estes nós podem representar distritos, cidades ou povoados com interesses na implantação ou não dos serviços, facilitando a quantificação dos dados. Além disto, se um ponto potencial a receber uma unidade de serviço não é um dos nós do grafo, ele pode ser considerado como um nó fictício e ser incorporado na análise.

Um maior aprofundamento sobre problemas de mediana pode ser encontrado em Larson e Odoni (1981) ou nos trabalhos citados a seguir.

Alguns Trabalhos

Um trabalho de Beguin et al. (1992) trata da localização de bibliotecas públicas usando a metodologia de p -mediana. O trabalho faz duas avaliações usando esta metodologia. O modelo é aplicado considerando-se a distribuição espacial correspondente aos setores censitários e cada setor representado por um ponto i , com população total igual a do setor; e ainda considerando-se a demanda como sendo flexível dependendo de um número de variáveis explicativas. Para as duas formas aplicou-se o modelo de p -mediana e concluiu-se que a mudança na distribuição da demanda faz variar pouco os resultados obtidos para a localização das bibliotecas.

Um trabalho de Hodgson (1981) visa a localização-alocação de facilidades para pessoas que saem de casa para o trabalho e precisam passar pelas mesmas. Como exemplo, tem-se pais que deixam filhos em suas atividades antes de seguirem para trabalhar. O autor busca minimizar o custo/tempo de viagem em excesso nas jornadas diárias. O autor usa os dados de viagens inter e intrazonais de tráfego nos horários de pico, bem como dados censitários sobre famílias, número de crianças e pais trabalhando. A metodologia usada é a da p-mediana. Uma aplicação do trabalho - feita na cidade de Edmonton, Canadá - é descrita. Os resultados apresentados demonstram uma tendência à centralização das facilidades na área central da cidade justificada pelo grande número de pessoas que lá trabalham e pela facilidade de acesso.

Um trabalho de Silva e Pizzolato (1993) trata da localização de escolas nas áreas urbanas, principalmente em áreas em via de urbanização, na cidade de Nova Iguaçu-RJ. Neste trabalho os setores censitários da área estudada foram considerados como vértices formando então um grafo, com as ligações entre as localidades sendo as arestas. Usando a metodologia de p-mediana buscou-se encontrar os vértices onde deveriam haver escolas de modo a minimizar o deslocamento total dos estudantes. Os autores concluem que as escolas existentes estão mal localizadas, havendo áreas bastante deficitárias e fazem uma sugestão de localidades para a implantação de escolas.

Um outro trabalho ainda de Silva e Pizzolato (1997) feito com base nos mesmos princípios metodológicos anteriores é aplicado ao município de Nilópolis-RJ. Na solução encontrada propõe-se a criação de microregiões e em cada uma delas deve haver pelo menos uma escola. Este número de escolas deve variar conforme a quantidade de crianças a serem atendidas em cada microregião e a capacidade da escola.

Um trabalho de Silva e Pizzolato (1996) analisa a localização espacial e a capacidade de oferta de vagas de escolas públicas de 1º grau no município de Niterói-RJ. Foram usados os setores censitários, que transformados em vértices com pesos equivalentes a população em idade escolar, serviram para montar o grafo com os arcos representando as distâncias entre cada vértice. Com este quadro usou-se o modelo de p-mediana para minimizar a distância percorrida pelo conjunto de alunos de cada escola. Neste trabalho os autores concluem que a rede escolar de Niterói está bem dimensionada e satisfatoriamente distribuída espacialmente.

O trabalho feito por Lima e Gonçalves (1999) visa localizar centros de saúde especializados e é aplicado ao estado de Santa Catarina. O objetivo é minimizar a distância média a ser percorrida pela população e para tal é usada a metodologia de p-mediana. São consideradas dezoito cidades como possíveis candidatas a receberem os centros especializados. Primeiramente foram escolhidas oito cidades, dentre as dezoito possíveis, para receberem os centros especializados. É apresentada então a alocação das outras cidades a estes centros.

4.4 – Problemas de Centro

Problemas de centro consistem em encontrar a melhor localização para um número específico de facilidades a serem instaladas. O objetivo é minimizar a distância máxima a ser percorrida até as facilidades.

Este tipo de metodologia é muito usada quando busca-se instalar um serviço emergencial, seja ele um hospital, um posto policial ou de bombeiros, uma vez que minimiza o pior caso. Em contrapartida, esta metodologia apresenta resultados mais onerosos, já que considera comunidades distantes ou isoladas, por exemplo. Em países em fase de

desenvolvimento os recursos disponíveis são poucos, inviabilizando a utilização do método.

Para resolver problemas de localização de centros pode-se usar grafos. Normalmente os arcos representam as ligações rodoviárias e os nós as comunidades. Como simplificação apresenta-se aqui a busca da localização dos centros somente nos nós do grafo. Esta apresentação está baseada no livro de Christofides (1975) onde é possível encontrar mais detalhes sobre a metodologia.

Considerando o grafo $G(X,A)$ com cada nó x_i tendo seu respectivo peso p_i , X o conjunto de nós do grafo e X_p subconjuntos de X com p elementos, define-se $d(X_p, x_i)$ como a menor distância entre qualquer dos nós de X_p e o nó x_i .

$$d(X_p, x_i) = \min_{x_j \in X_p} [d(x_j, x_i)] \quad (4.4)$$

Também define-se $s_o(X_p)$ como a *out-separação* do nó x_i , e $s_t(X_p)$ como a *in-separação* do conjunto X_p :

$$s_o(X_p) = \max_{x_j \in X} [p_j d(X_p, x_j)] \quad (4.5)$$

$$s_t(X_p) = \max_{x_j \in X} [p_j d(x_j, X_p)] \quad (4.6)$$

Pode-se determinar a localização do p-outcentro ou do p-incentro que dependem do tipo de facilidade a ser instalada. Para facilidades em que a população precisa se deslocar até elas, como hospitais, usa-se o in-centro; para facilidades onde os prestadores de serviço se deslocam até a comunidade, como bombeiros, usa-se o out-centro.

O p-outcentro fica localizado no conjunto X_{po}^* tal que,

$$s_o(X_{po}^*) = \min_{X_p \subseteq X} [s_o(X_p)] \quad (4.7)$$

O p-incentro fica localizado no conjunto X_{pt}^* tal que,

$$s_t(X_{pt}^*) = \min_{X_p \subseteq X} [s_t(X_p)] \quad (4.8)$$

Alguns Trabalhos

O trabalho de ReVelle e Swain (1970) é um dos primeiros sobre a localização de facilidade central. Ele apresenta uma pequena retrospectiva dos trabalhos feitos sobre localização de facilidades desenvolvidos naquela década. O trabalho desenvolve a formulação matemática, usando programação linear, para a determinação dos pontos ótimos para as facilidades numa rede.

Christofides e Viola (1971) apresentam um algoritmo para resolver problemas de localização de serviços emergenciais como localização de bombeiros, hospitais, polícia, ambulância, e outros. O algoritmo apresentado no trabalho é uma forma iterativa de resolver problemas de p-centro, mas os centros podem estar localizados nos vértices ou nas arestas do grafo. Segundo os autores, este algoritmo é computacionalmente eficiente para resolver problemas de grande porte com grafos.

O trabalho de Minieka (1977) apresenta uma descrição bastante detalhada dos passos a serem seguidos quando busca-se encontrar soluções para problemas de localização de facilidades sobre um grafo. Há descrição para a busca de solução de 1-centro e p-centros gerais e absolutos, bem como de medianas.

4.5 – Problema de Cobertura de Conjuntos

Problema de cobertura de conjuntos é uma outra forma de resolver problemas de localização de facilidades. Nela também há exigências a serem respeitadas, e busca-se encontrar o menor número de facilidades que cubram todos os pontos de demanda com um nível de serviço pré-determinado.

Tem-se uma rede G e dois conjuntos de pontos sobre esta rede, X_m e Y_n :

$$X_m = \{x_1, x_2, \dots, x_m\} \text{ e } Y_n = \{y_1, y_2, \dots, y_n\} \quad (4.9)$$

onde Y_n corresponde aos pontos geradores de demanda e X_m aos pontos candidatos a receberem uma facilidade. Os conjuntos X_m e Y_n podem ter pontos coincidentes e eventualmente serem iguais.

Pode-se montar uma matriz de distâncias mínimas entre os pontos de X_m e Y_n , $D[d(i,j)]$, onde $d(i,j)$ é a distância mínima entre x_i e y_j .

Assume-se que deva existir uma distância máxima a ser respeitada, λ , entre os pontos de demanda Y_n e as facilidades a serem alocadas X_m . A partir disto tem-se que um ponto de demanda pode ou não ser coberto por uma facilidade, dependendo da distância entre eles.

Matematicamente pode-se representar por:

$$\begin{cases} d(i, j) \leq \lambda \Rightarrow x_i \text{ cobre } y_j \\ d(i, j) > \lambda \Rightarrow x_i \text{ não cobre } y_j \end{cases} \quad (4.10)$$

Com estes elementos chega-se a uma nova matriz, chamada de matriz de cobertura $A=[a_{ij}]$, definida da seguinte forma:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se } d(i, j) \leq \lambda \\ 0, & \text{se } d(i, j) > \lambda. \end{cases} \quad (4.11)$$

Tem-se, então, que encontrar o menor número de elementos de X_m de forma que todos os elementos de Y_n sejam cobertos. Para isso pode-se seguir o caminho da redução da matriz de cobertura usando o chamado algoritmo de redução apresentado tanto em Larson e Odoni (1981), quanto em Christofides (1975).

Com este algoritmo algumas vezes é possível obter a solução completa do problema. Caso não se obtenha a solução completa só com o algoritmo é preciso complementar o resultado. Isto pode ser feito por inspeção, quando se trata de problemas de pequeno porte, ou pode-se utilizar programação linear para resolvê-lo.

Alguns trabalhos

O trabalho de Lobo e Gonçalves (2001) utiliza a metodologia de cobertura de conjuntos para determinar a distribuição espacial do sistema de educação infantil da cidade de Florianópolis, Santa Catarina. Como resultado obtido há a sugestão da ampliação do sistema e uma forma de implementação gradativa das novas unidades.

Murray (2001) utiliza a metodologia de cobertura de conjuntos, unida a um programa comercial de informações geográficas, para analisar o sistema de transporte público, da cidade de Brisbane, Austrália. Como resultado justifica e sugere mudanças no sistema de transporte de modo que aumente a utilização do mesmo.

Bowerman et alli (1995) usaram a metodologia de cobertura de conjuntos, unida ao algoritmo do carteiro chinês, para determinar a rota e

as paradas de um ônibus escolar considerando grupos de alunos de uma cidade americana. O algoritmo foi desenvolvido de modo a tentar manter valores de eficiência e eqüidade, uma vez que o transporte escolar é um serviço público.

Kumaran (1983) usa a metodologia de cobertura de conjuntos para determinar pontos potenciais para a localização de centros de saúde, de modo que a população fique toda coberta com um limite de distância máxima de deslocamento.

4.6 – Diagramas de Voronoi

Depois de determinadas as localizações das facilidades é necessário determinar as áreas de abrangência das mesmas, ou seja, qual a região que estará sob influência de cada uma das facilidades. Para fazer isto pode-se utilizar modelos de alocação. Um modelo que vem sendo muito utilizado para alocação é o modelo chamado de diagrama de Voronoi.

Antes de uma exposição matemática sobre diagramas de Voronoi é interessante entender intuitivamente o que é. Dado um conjunto finito de pontos distintos no plano (espaço) contínuo é possível associar regiões fechadas deste plano (espaço) a cada um destes pontos. Isto pode ser um diagrama de Voronoi. A formulação matemática para determinar as fronteiras de cada região é apresentada posteriormente.

Diagrama de Voronoi é um modelo matemático que permite determinar, no espaço m -dimensional, a *região de domínio* de pontos conhecidos. Estes pontos podem representar centros comerciais, átomos, árvores, hospitais, etc. Este modelo pode ser aplicado a áreas bastante diversas como serão citadas nos próximos itens.

4.6.1 – Histórico

Um breve histórico sobre diagramas de Voronoi é apresentado em Okabe et al. (1995) sendo utilizado como base para este trabalho. Em 1644 Descartes utilizou diagramas, com os quais Voronoi se assemelha, para mostrar a disposição da matéria no sistema solar. Em 1850, Dirichlet apresentou o conceito, do que viria a ser os diagramas de Voronoi, para casos de 2 e 3 dimensões. Voronoi, em 1908, generaliza o conceito para casos m -dimensionais.

O conceito desenvolvido por Voronoi consistia em encontrar uma partição do espaço m -dimensional, formada por poliedros mutuamente congruentes. Para isso, partia de pontos, regularmente distribuídos no espaço gerados pela combinação linear de m vetores linearmente independentes de coeficientes inteiros, ou seja, partia de pontos gerados por uma base de coeficientes inteiros do espaço estudado. Como resultado obtia a partição do espaço em poliedros mutuamente congruentes.

Ainda no histórico apresentado por Okabe et al. (1995) tem-se que as primeiras aplicações de diagramas de Voronoi foram na área de cristalografia; meteorologia, para melhorar a estimativa pluviométrica; geografia, para estimar reservas de metal; e química, para estudar as relações entre átomos vizinhos a um determinado átomo. Em paralelo, também foram utilizados para determinar centros metropolitanos, ou para determinar áreas de fronteiras entre centros comerciais.

Apesar das aplicações em campos bastante diversos, o uso da metodologia de diagramas de Voronoi era limitada devido à dificuldade de construção usando régua e compasso, podendo possibilitar erros. Com o avanço da computação científica, muitos algoritmos foram desenvolvidos

permitindo a construção dos diagramas de Voronoi e extensões do conceito inicial também foram criadas.

4.6.2 – Conceitos de diagramas de Voronoi

Como foi dito na seção anterior, o advento da computação científica permitiu variações no conceito original de Voronoi. A seguir serão apresentados os vários conceitos para diagramas de Voronoi, e algumas aplicações recentes. Sugere-se o livro de Okabe et al. (1995) para maiores aprofundamentos.

4.6.2.1 – Diagramas de Voronoi Ordinários

Para uma melhor compreensão primeiramente será apresentado o conceito, para o plano euclidiano, de diagrama de Voronoi ordinário.

Dado um conjunto finito de dois ou mais pontos distintos no plano euclidiano, associam-se todos os outros pontos do plano a um dos elementos deste conjunto, considerando a distância euclidiana. Esta associação é feita de modo que os pontos sejam alocados ao ponto mais próximo dentre os elementos do conjunto dado.

Obtendo-se então, a região de domínio de cada um dos pontos do conjunto, chamados de pontos geradores. Alguns pontos do plano podem ser associados a dois ou mais pontos deste conjunto e são chamados de fronteira.

Na figura 4.1 tem-se um exemplo de diagrama de Voronoi com 7 pontos geradores, as fronteiras são os lados dos polígonos e suas regiões de domínio são as áreas internas dos polígonos (um deles em destaque hachurado).

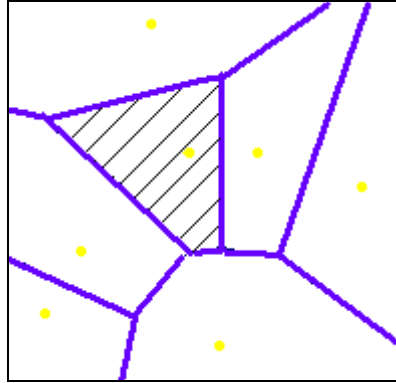


Figura 4.1: Região de domínio e fronteira, respectivamente, região interna e lados dos polígonos.

Desta forma, obtém-se conjuntos de regiões coletivamente exaustivas, pois todos os pontos do plano estão associados a algum dos pontos geradores, e mutuamente exclusivas, pois as regiões não têm interseção, exceto pelas fronteiras. Tem-se então, uma tesselação (divisão) do plano. A esta tesselação dá-se o nome de diagrama ordinário de Voronoi.

A formulação matemática para este conceito é apresentada a seguir.

Seja $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, $2 \leq n < \infty$ um conjunto finito de pontos distintos do plano euclidiano, onde as coordenadas do ponto P_i são (x_i, y_i) .

Seja $P(x, y)$ um ponto arbitrário do plano euclidiano.

A distância euclidiana de P a P_i é calculada por

$$d(P, P_i) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} . \quad (4.12)$$

A região de domínio de P_i sobre P_j é dada pelo conjunto

$$H(P_i, P_j) = \{P / d(P, P_i) \leq d(P, P_j) \forall j \neq i\}. \quad (4.13)$$

Chama-se polígono ordinário de Voronoi associado a P_i , ou região de domínio de P_i , ao conjunto:

$$V(P_i) = \bigcap_{\forall j \neq i} H(P_i, P_j). \quad (4.14)$$

O ponto P_i é chamado de ponto gerador da região $V(P_i)$. Dado um ponto P , tal que $P \in V(P_i)$, então dentre todos os pontos do conjunto P , P_i é o ponto mais próximo de P .

Chama-se diagrama ordinário planar de Voronoi gerado por P , ao conjunto de todos os polígonos ordinários $V(P_i)$, e é representado por

$$V = \{V(P_1), V(P_2), \dots, V(P_n)\}. \quad (4.15)$$

Na figura 4.2 pode-se observar um exemplo de diagrama ordinário de Voronoi com dez pontos geradores. É possível observar os polígonos associados a cada ponto gerador, bem como toda a tesselação do plano.

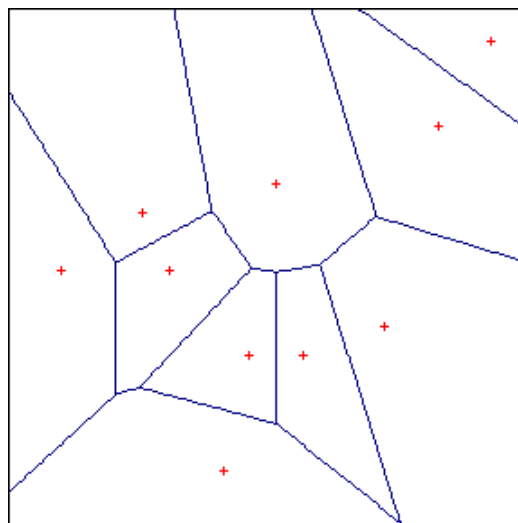


Figura 4.2: Diagrama de Voronoi ordinário com 10 geradores.

Uma extensão deste conceito pode ser feita para o espaço m-dimensional, IR^m .

Seja o conjunto de pontos distintos

$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\} \subset IR^m, 2 \leq n < \infty \text{ com}$$

$$P_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \neq P_j(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jn}) \text{ se } i \neq j. \quad (4.16)$$

Chama-se poliedro ordinário m-dimensional de Voronoi associado a P_i a região:

$$V(P_i) = \bigcap_{\forall j \neq i} H(P_i, P_j) \text{ com}$$

$$H(P_i, P_j) = \{P / d(P, P_i) \leq d(P, P_j), i \neq j\} \quad (4.17)$$

onde, $d(P, P_i)$ é a distância de P a P_i e $H(P_i, P_j)$ é a região de domínio de P_i sobre P_j , que é um semi-hiperespaço de IR^m .

O diagrama ordinário m-dimensional de Voronoi associado a P é o conjunto de todos os poliedros, $V(P) = \{V(P_1), V(P_2), \dots, V(P_n)\}$.

A partir da década de 70, foram feitas algumas generalizações do diagrama de Voronoi que incluem pesos. Neste trabalho serão vistas algumas destas generalizações.

4.6.2.2 – Diagramas de Voronoi Ponderados

Os diagramas de Voronoi ponderados diferem do diagrama de Voronoi ordinário pelo fato de seus pontos geradores receberem pesos. Estes pesos podem representar população, consumo, número de acidentes, uma composição de informações, etc., ou seja, qualquer informação ligada ao contexto da aplicação que será feita.

A concepção de diagrama de Voronoi ponderado é análoga ao do diagrama ordinário. Parte-se do conjunto de pontos geradores $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\} \subset \mathbb{R}^m$, $2 \leq n < \infty$, e de uma distância. Ao conjunto de pontos geradores é associado um conjunto de pesos $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ desses pontos. A distância não é mais a distância euclidiana e sim, uma distância ponderada de um ponto qualquer P do plano a P_i , representada por $d_w(P, P_i)$.

Com esses elementos é possível determinar a região de domínio de P_i sobre P_j , elementos do conjunto P , calculada como

$$Dom(P_i, P_j) = \{P / d_w(P, P_i) \leq d_w(P, P_j), \forall j \neq i\} \quad (4.18)$$

e a região de domínio associado a P_i é a interseção das regiões de domínio sobre todos os P_j , determinada da mesma forma, ou seja,

$$V(P_i) = \bigcap_{\forall j \neq i} Dom(P_i, P_j). \quad (4.19)$$

A forma de calcular a distância ponderada é que pode variar provocando uma variação nas formas das regiões de domínio associadas a P_i . Para cada uma das diferentes formas de calcular a distância ponderada o diagrama de Voronoi ponderado recebe um nome. Algumas destas formas são apresentadas a seguir.

- O diagrama de Voronoi multiplicativamente ponderado

Para este tipo de diagrama a distância é calculada como:

$$d_{wm}(P, P_i) = \frac{1}{w_i} d(P, P_i), w_i > 0 \quad (4.20)$$

ou seja, é o produto da distância euclidiana de P a P_i , pelo inverso do peso de P_i . Também pode ser encontrado na literatura o produto pelo próprio peso. Isto depende dos atributos que serão utilizados para o cálculo dos pesos dos pontos geradores.

A região de domínio de P_i sobre P_j é dada por

$$Dom(P_i, P_j) = \left\{ P / \frac{1}{w_i} d(P, P_i) \leq \frac{1}{w_j} d(P, P_j), \quad i \neq j \right\} \quad (4.21)$$

e a região de Voronoi associada a P_i é

$$V(P_i) = \bigcap_{j=1, j \neq i}^n Dom(P_i, P_j). \quad (4.22)$$

No espaço bidimensional, \mathbb{R}^2 , a fronteira da região de Voronoi associada ao ponto p_i é formada por arcos de circunferência. Um trabalho utilizando essa metodologia foi feito por Rezende (Rezende et alli, 2000) para determinar as áreas de abrangências dos hospitais públicos do município do Rio de Janeiro. Outro trabalho recente é a tese de doutoramento de Galvão (2003) que utiliza esta metodologia para dimensionar sistemas de distribuição em uma determinada área.

Um exemplo é apresentado na figura 4.3, de um diagrama de Voronoi multiplicativamente ponderado com 10 pontos geradores.

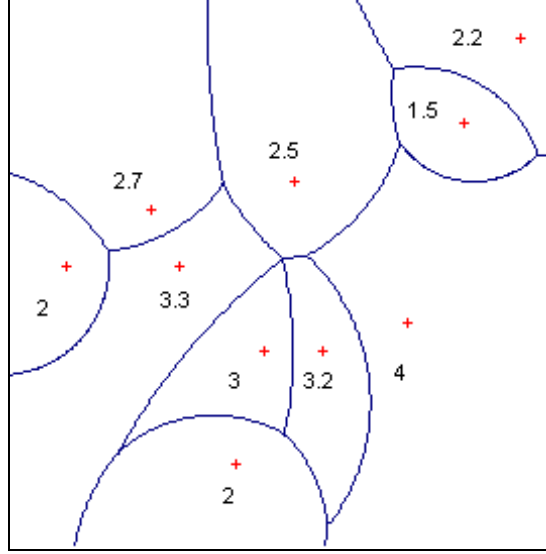


Figura 4.3: Diagrama de Voronoi multiplicativamente ponderado, com os respectivos pesos dos geradores.

- Diagrama de Voronoi aditivamente ponderado

Neste tipo de diagrama a função para calcular a distância é dada por

$$d_{wa}(P, P_i) = d(P, P_i) - w_i \quad (4.23)$$

ou seja, a distância euclidiana menos o peso do ponto gerador. Ela é chamada distância aditivamente ponderada.

A região de domínio de P_i sobre P_j é dada por:

$$\begin{aligned} Dom(P_i, P_j) &= \{P / (d(P, P_i) - w_i) \leq (d(P, P_j) - w_j), \quad i \neq j\}, \text{ ou} \\ Dom(P_i, P_j) &= \{P / d(P, P_i) - d(P, P_j) \leq (w_i - w_j), \quad i \neq j\}. \end{aligned} \quad (4.24)$$

Neste caso, diferentemente dos anteriores, a região de domínio pode ter formas diferentes conforme a relação entre a distância de P_i a P_j e a diferença de seus pesos.

Pode acontecer da região de domínio de P_i ser todo o plano, quando a diferença entre os pesos é zero. Isto no Voronoi multiplicativamente ponderado não acontece. Pode acontecer da região ser todo o plano menos uma semi-reta de origem P_j e direção contrária a P_iP_j , quando a diferença entre os pesos é igual a distância euclidiana entre P_i e P_j .

De forma mais freqüente a fronteira entre as regiões de domínio é um ramo de hipérbole de focos P_i e P_j . Também é possível esta fronteira ser uma semi-reta perpendicular ao ponto médio do segmento P_iP_j , quando a diferença dos pesos é igual a 1.

A figura 4.4 apresenta as possibilidades de fronteiras e região de domínio entre P_i e P_j para o diagrama de Voronoi aditivamente ponderado. O valor de β representa a diferença entre os pesos de P_i e P_j .

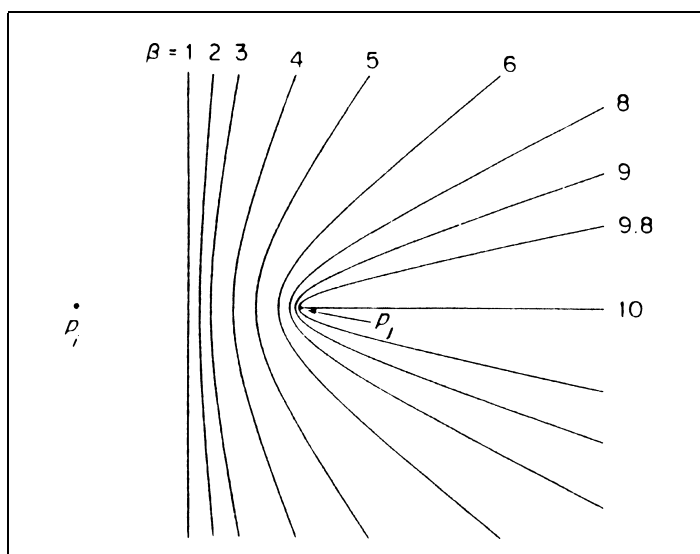


Figura 4.4. Possibilidades de fronteira no diagrama de Voronoi aditivamente ponderado.

A figura 4.5 apresenta um exemplo diagrama de Voronoi aditivamente ponderado com seis pontos geradores e seus respectivos pesos.

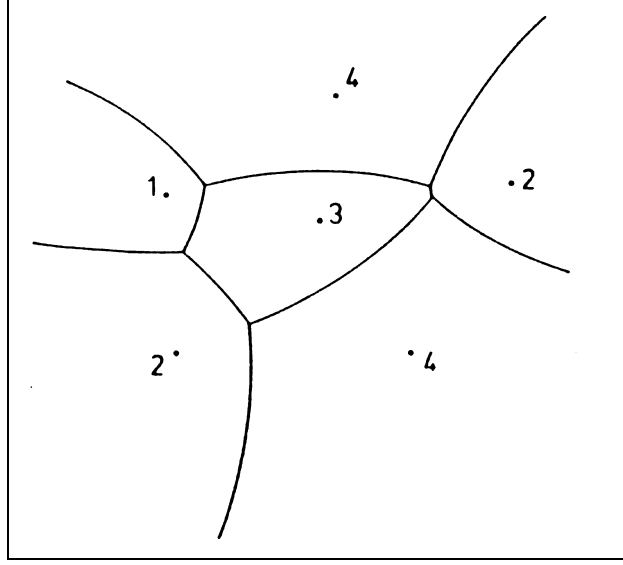


Figura 4.5: Exemplo de diagrama de Voronoi aditivamente ponderado com seis pontos geradores e seus respectivos pesos.

- Diagrama de Voronoi de potência aditivamente ponderada

Um outro tipo de diagrama ponderado é dado pela função distância

$$d_{wp}(P, P_i) = [d(P, P_i)]^2 - w_i \quad (4.25)$$

ou seja, a distância euclidiana ao quadrado menos o peso do ponto gerador. Ela chamada distância de potência aditivamente ponderada.

A região de domínio de P_i sobre P_j é dada por:

$$Dom(P_i, P_j) = \left\{ P / [d(P, P_i)]^2 - w_i \leq [d(P, P_j)]^2 - w_j, \quad i \neq j \right\}, \quad (4.26)$$

cuja fronteira no \mathbb{R}^2 é uma reta perpendicular à reta $\overline{P_i P_j}$, passando pelo ponto

$$x_{ij} = \frac{\|v_j\|^2 - \|v_i\|^2 + w_i - w_j}{2\|v_j - v_i\|^2} (v_j - v_i), \quad (4.27)$$

onde v_j é o vetor associado a P_j , v_i o vetor associado a P_i , com extremidades iniciais na origem e $\|v\|^2$ é a norma ao quadrado do vetor v .

A região de domínio de P_i é a interseção de todas as suas regiões de domínio sobre os outros pontos P_j , chamado de polígono de potência de Voronoi.

$$V(P_i) = \bigcap_{j=1, j \neq i}^n Dom(P_i, P_j) \quad (4.28)$$

Chama-se de diagrama de Voronoi de potência aditivamente ponderado a união de todos os polígonos de potência.

$$V(P) = \bigcup_{i=1}^n V(P_i) \quad (4.29)$$

Neste diagrama pode acontecer do ponto gerador ficar fora de sua região de domínio. Este fato ocorre dependendo da relação entre os pesos e a posição. Um exemplo de diagrama de potência é apresentado na figura 4.6 a seguir.

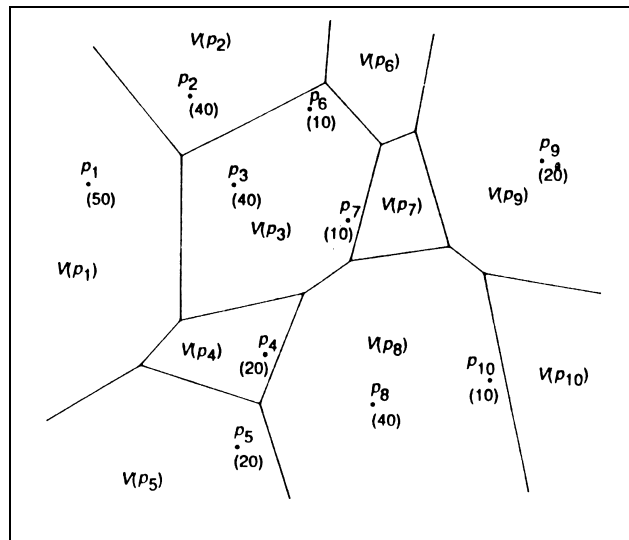


Figura 4.6: Diagrama de Voronoi de potência aditivamente ponderado com dez pontos geradores e suas regiões de domínio.

No desenvolvimento desta tese é adotado o modelo matemático de p-medianas. Neste modelo o número de unidades (p) é pré-estabelecido.

Desta forma, busca-se distribuir as p unidades pela área estudada com o menor “custo total” possível. Este “custo total” pode ser tempo, custo financeiro, distância, etc.

Segundo Souza (1996) este modelo é conveniente em regiões com poucos recursos financeiros, pois permite distribuir da melhor maneira possível as unidades disponíveis. Além disto, no caso desta tese, o modelo é adequado pois na etapa prévia de dimensionamento do sistema determina-se um número de unidades de educação para a área estudada.

Os diagramas de Voronoi ordinários são usados para determinar as áreas de abrangências de cada uma das unidades de educação. Adota-se este tipo de diagrama de Voronoi, pois nele não há ponderação nas unidades. Esta ponderação foi utilizada na metodologia de p -medianas. Desta forma não se tem um desvio do resultado final.

No capítulo seguinte a proposta metodológica completa é apresentada.

Capítulo 5 - Metodologia Proposta

5.1 – Apresentação

Abaixo é apresentada a metodologia proposta e desenvolvida no decorrer deste trabalho seguindo o fluxograma da figura 5.1. Cada uma das etapas será explicada nos próximos itens.

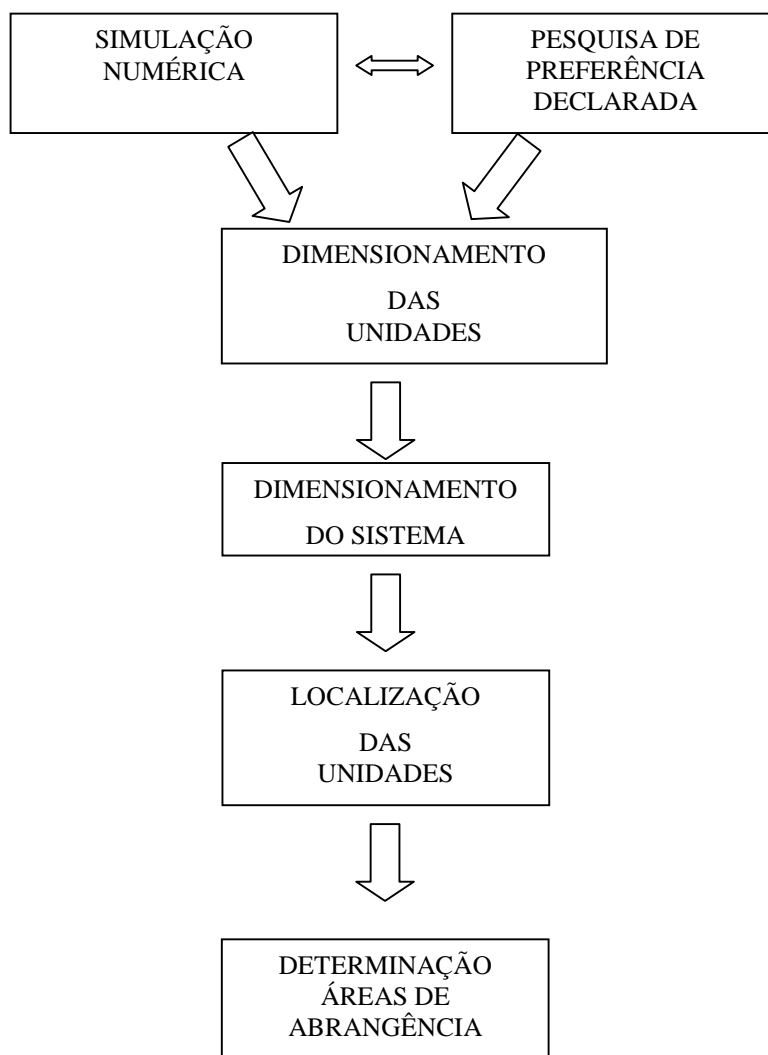


Figura 5.1: Fluxograma da proposta de tese.

5.2 – Pesquisa de Preferência Declarada

Esta etapa tem como objetivo determinar os atributos relevantes para o usuário do sistema. Para chegar a este resultado, um primeiro passo consiste em fazer uma pesquisa exploratória. Nesta pesquisa exploratória são apresentadas aos usuários diversas características do sistema de educação infantil, ficando também aberta a possibilidade deles sugerirem outras. Para a execução da pesquisa de preferência declarada são tomadas as características mais mencionadas na pesquisa exploratória. O número de características que serão usadas depende de cada caso.

O momento seguinte consiste na elaboração da pesquisa de preferência declarada. Tomadas as características mais citadas, determinam-se quantos níveis cada uma delas terá e elaboram-se os cartões. Eles são apresentados aos usuários no momento da execução da pesquisa. O dimensionamento da amostra depende não só da disponibilidade financeira para executá-la, mas esta amostra necessita ser representativa. O passo seguinte consiste da análise dos dados obtidos.

Para a metodologia aqui proposta, a análise dos dados é feita com uma visão qualitativa. Para obter os resultados pode-se utilizar pacotes computacionais próprios para isto. Neste trabalho utiliza-se o programa LMPC de Souza (1999).

5.3 – Simulação

Na etapa de simulação numérica um algoritmo é elaborado permitindo analisar o custo de uma unidade de educação infantil. Desta

forma podem ser geradas várias configurações numéricas da distribuição de crianças para uma unidade os quais responderão com valores de custo diferenciados.

Para a elaboração deste algoritmo são considerados os custos usuais que fazem parte de uma unidade de educação, que são:

- Custos com o pagamento de salário de professores.
- Custos com o pagamento de salário de funcionários.
- Custos de alimentação.
- Custos de manutenção e limpeza.
- Custos com material pedagógico usado pelas crianças.

No desenvolvimento do algoritmo são determinados o número de professores para cada faixa etária e o número de funcionários da unidade. Para obter o primeiro considera-se a legislação vigente citada no capítulo 3, e o segundo é dependente do número total de crianças atendidas na unidade.

Como resultado obtém-se um custo médio mensal por criança em uma unidade de educação infantil. A simulação consiste em gerar vários cenários, com o número total de crianças variando e, fazendo-se uma análise do comportamento da função custo médio.

A seguir os dados utilizados no algoritmo desenvolvido são apresentados e mais adiante, uma breve explicação sobre as operações e cálculos é feita.

Algoritmo

Entrada de dados:

- Número de crianças atendidas 0 a 1 anos.

- Número de crianças atendidas 1 a 3 anos.
- Número de crianças atendidas 3 a 5 anos.
- Custo mensal por criança com alimentação.
- Custo mensal por criança com material pedagógico.
- Custo mensal com material de limpeza por metro quadrado.

Operações e cálculos

- Número de crianças atendidas de 5 a 6 anos.
- Número de professores necessários por faixa etária.
- Área mínima coberta da unidade de educação.
- Número de funcionários.
- Custo total mensal de uma unidade.

Saída

- Custo médio mensal por criança.

Em termos de representação matemática pode-se escrever este procedimento da seguinte forma.

VARIÁVEIS

N1 = número de crianças de 0 a 1 ano

N2 = número de crianças de 1 a 3 anos

N3 = número de crianças de 3 a 5 anos

N4 = número de crianças de 5 a 6 anos

NTC = número total de crianças

P1 = número de professores da faixa 0 a 1 ano

P2 = número de professores da faixa 1 a 3 anos

P3 = número de professores da faixa 3 a 5 anos

P4 = número de professores da faixa 5 a 6 anos

NTP = número total de professores

AuxF = variável auxiliar para cálculo do número de funcionários

NF = número total de funcionários

CUSTO =Custo total

SalP = salário dos professores

SalF =salário dos funcionários

CustoRefeição = Custo de uma refeição

CustoAlimenta. = Custo mensal de alimentação por criança

CustoMat.Ped. = Custo mensal de material pedagógico por criança

CustoLimpeza = Custo mensal com limpeza e manutenção por m²

CustoMedio = Custo médio mensal por criança

ENTRADA

N1, N2, N3

CÁLCULOS

$N4 = 2 \cdot (N1 + N2) - N3$

NTC = SOMATÓRIO Ni's, $i = 1 \dots 4$

$P1 = N1/8$

$P2 = N2/10$

$P3 = N3/15$

$P4 = N4/25$

NTP = SOMATÓRIO Pi's, $i = 1 \dots 4$

$AuxF = (NTC - 90)/30$

Se $AuxF < 0$, então $NF = 4$

Senão, $NF = 4 + \text{Arredonda pra cima } AuxF$

$AREA = 1,5 \cdot NTC$

$CustoAlimenta. = CustoRefeição \cdot 3 \cdot 22$

$$CUSTO = SalF \cdot NF + SalP \cdot NP + NTC \cdot (CustoMat.Ped. +$$
$$CustoAlimenta.) + AREA \cdot CustoLimpeza$$

SAÍDA

$$\text{CustoMedio} = \text{CUSTO} / \text{NTC}$$

Para determinar o número de crianças atendidas de 5 a 6 anos, N4, é necessário observar mais atentamente a tabela 3.1, no capítulo 3,. Nela é possível notar que existe uma distribuição proporcional do número total de crianças pelas faixas etárias.

Há uma relação entre as quantidades de crianças atendidas na faixa de 0 a 3 anos e na faixa de 3 a 6 anos. A primeira faixa etária é, aproximadamente, um terço do total enquanto a segunda, dois terços. A mesma proporção é mantida entre o número de crianças atendidas de 3 a 5 anos e de 5 a 6 anos.

Com o número de crianças a serem atendidas por faixa etária, é possível determinar o número de professores necessários, respeitando ainda as relações apresentadas na tabela 3.1. Uma vez que crianças não podem permanecer sozinhas, faz-se necessário a presença de um auxiliar de turma em cada uma das classes, fazendo com que o número total de professores seja o dobro do calculado.

A área mínima coberta é uma relação direta do número total de crianças da unidade de educação com a regulamentação sugerida pelo documento elaborado pelo Ministério da Educação (Brasil, 1998), também apresentado no capítulo 3.

O custo de alimentação é obtido considerando que as crianças fazem três refeições ao longo do dia, e que, em média, um mês tem vinte e dois dias úteis.

Para o cálculo do número de funcionários, responsáveis por limpeza, manutenção e preparo das refeições, não há regulamentações. Sua forma de calcular é fruto da observação do cotidiano adotado pelas unidades de educação. Além disto, foram feitas visitas a empresas especializadas no setor que prestam este serviço às unidades de educação infantil de Curitiba. Estas visitas permitiram determinar que este número é fixo em quatro funcionários para unidades com até 90 crianças e aumenta em um funcionário para cada aumento de 30 crianças.

Aplicando o algoritmo descrito é possível estimar o custo total da unidade de educação, obtendo-se, então, o custo médio por criança por mês para um determinado número total de crianças atendidas na unidade de educação.

Com os resultados, uma análise dos custos médios obtidos pode ser feita e, desta forma, determinar intervalos de variação do número total de crianças em que estes custos sejam próximos. Este resultado será um subsídio para a próxima etapa.

5.4 – Dimensionamento das unidades

Na etapa de dimensionamento o objetivo é determinar um valor ou um intervalo para o número total de crianças que devem ser atendidas em uma unidade de educação infantil de modo que os custos sejam minimizados.

Com o algoritmo apresentado anteriormente é possível determinar várias configurações de cenários de uma unidade de educação e desta forma determinar diferentes resultados para o número total de crianças atendidas e o custo médio por criança da unidade.

Com estas informações é possível buscar uma aproximação deste custo por uma função polinomial. Obtida a equação da função pode-se determinar seu mínimo local.

Com o valor do mínimo local da função obtém-se um dimensionamento adequado da unidade de educação com um custo mínimo ou próximo do mínimo. Basta para isto tomar o número total de crianças para uma unidade de educação infantil próximo a este valor que proporciona o custo mínimo.

A etapa de dimensionamento contribui não só para determinar o tamanho de uma unidade mas, em conjunto com a etapa de preferência declarada, insere os atributos mais importante eleitos pelos pais, como alimentação ou limpeza e manutenção, no dimensionamento. Esta etapa possibilita, então, um suporte não só prático, com o número de crianças a serem atendidas, mas também político social, ao respeitar preferências dos usuários.

Com o dimensionamento de uma unidade de educação é possível, então, dimensionar o sistema como um todo.

5.5 – Dimensionamento do sistema

Para dimensionar o sistema é preciso, primeiro, estimar o número de crianças que serão atendidas na região a ser estudada. Antes, é preciso determinar o número de crianças da área. Podem ser considerados os dados do censo demográfico disponível. Se houver um intervalo de tempo muito grande entre a coleta dos dados e a utilização dos mesmos, pode ser aplicado um fator de correção baseado na taxa de crescimento populacional da área no período de tempo correspondente.

Após a determinação do número de crianças da região pode-se utilizar a legislação vigente, como por exemplo, a meta 1 do Plano Nacional de Educação (Brasil, 2001) para estimar o número de crianças que devem ser atendidas. Esta meta diz que, até 2006, 30% das crianças de 0 a 3 anos e 60% das crianças de 4 a 6 anos deverão participar de uma unidade de educação infantil. Aplicando-se estes percentuais aos números anteriormente obtidos é possível determinar, para a área estudada, o número total de unidades necessárias.

A próxima etapa consiste em determinar a localização destas unidades na área estudada.

5.6 – Localização das Unidades

Para localizar as unidades de educação infantil utiliza-se um modelo de localização. Neste trabalho o modelo usado é o clássico modelo de p-medianas. Este modelo equaliza, em função da densidade populacional, a distribuição das unidades pela região estudada sem deixar uma área desprovida e outra com um número alto de unidades. O dimensionamento do sistema determinará o número necessário de unidades e este número especificado será utilizado no modelo.

Consideram-se como candidatos a localização para o modelo cada um dos setores censitários da região a ser estudada. Cada um deles será considerado com o peso correspondente. O peso do setor pode ser calculado como resultado de uma fórmula envolvendo variáveis sócio-econômicas como, por exemplo, o número de crianças a serem atendidas, a renda familiar média, o sexo do chefe familiar e sua situação de alfabetização.

Nesta etapa a metodologia torna-se dinâmica, pois é possível calcular o peso dos setores censitários utilizando outros dados que estejam disponíveis e sejam úteis. Neste trabalho isto não se faz necessário pois considera-se que os atributos enumerados no parágrafo anterior já são representativos e consistentes (Lobo, 1998).

Como os setores censitários são quarteirões, ou pequenos conjuntos de quarteirões, ou partes de quarteirões, o número total de setores censitários para regiões onde a metodologia se aplica, é um número grande. Isto deve ser levado em conta ao selecionar o software a ser utilizado para resolver o problema de mediana.

Neste trabalho utiliza-se o programa de sistema de informações geográficas do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, chamado Spring (Camara et alli, 1996). Nele é necessário que se tenha a região a ser estudada geo-referenciada e a distribuição espacial de seus setores censitários.

Localizadas as unidades de educação cabe ainda determinar suas áreas de abrangência.

5.7 – Áreas de Abrangência

Por área de abrangência de uma determinada unidade entende-se a sub-região da área estudada que deve ser atendida por esta unidade.

A necessidade de determinar as áreas de abrangência de cada uma das unidades poderia ser questionada, pois o modelo matemático de p-medianas já determina quais dos candidatos são alocadas a cada mediana. No entanto, os setores censitários podem ser regiões não convexas e o programa utilizado para determinar a localização das

medianas considera apenas os centróides de cada setor censitário. Isto pode possibilitar como resposta regiões não conexas de alocação, dependendo do quão desconvexos sejam os setores censitários da região estudada.

Para determinar as áreas de abrangência das unidades de educação localizadas na etapa anterior é aplicado o modelo matemático de alocação denominado Diagramas de Voronoi, descrito no capítulo 4. Este modelo determina regiões de domínio (áreas de abrangência) de pontos conhecidos (unidades de educação infantil).

Como explanado no capítulo 4, existem variados conceitos para Diagramas de Voronoi. Neste trabalho utiliza-se o conceito de Diagramas de Voronoi Ordinário. Isto se justifica pois na etapa de localização das unidades já foram considerados os pesos dos setores censitários. Entende-se que estes pesos não devem aparecer mais de uma vez na mesma metodologia, pois podem alterar o resultado final. Além disto, a utilização deste modelo gera como resposta regiões conexas e convexas.

Capítulo 6 - APLICAÇÃO E RESULTADOS

6.1 – Apresentação

Para validar a metodologia proposta no capítulo anterior, torna-se necessário uma aplicação prática da mesma. Neste capítulo serão apresentados os dados utilizados para esta aplicação, os resultados obtidos, bem como uma análise destes resultados.

Busca-se determinar um bom dimensionamento para uma unidade de educação infantil, dimensionar o sistema para a região estudada e encontrar uma adequada distribuição espacial para as unidades de educação infantil.

6.2 – Aplicação

A aplicação é realizada para a cidade de Cascavel, situada na região oeste do Paraná, como se pode visualizar na figura 6.1 a seguir. O recenseamento de 2000 apresenta o município de Cascavel com 245.369 habitantes (IBGE,2000), enquanto no censo de 1991 havia 192.990 habitantes (IBGE, 1991). Este aumento, de aproximadamente 27%, é uma tendência encontrada nos municípios da região oeste do Paraná.

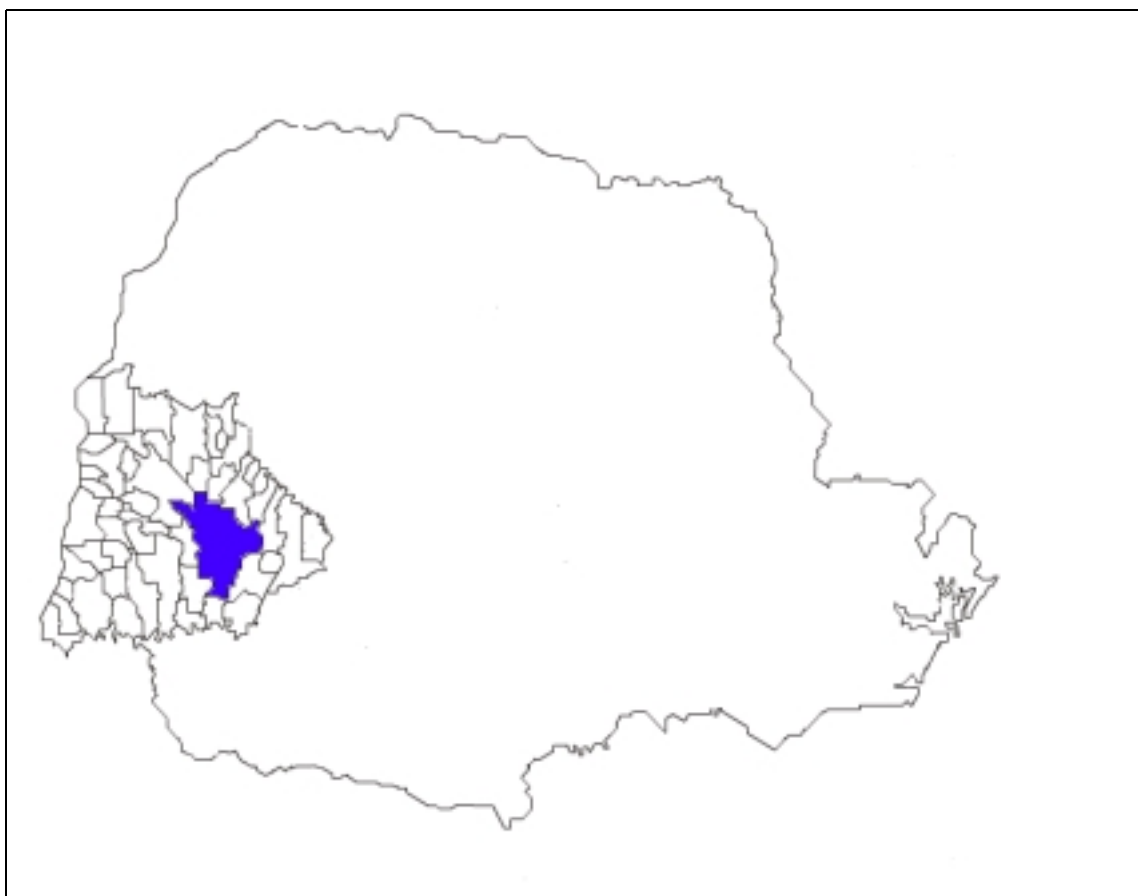


Figura 6.1: Localização da mesoregião oeste e do município de Cascavel no estado do Paraná

A seguir cada etapa é descrita com os dados utilizados bem como os resultados obtidos.

6.2.1 – Pesquisa de Preferência Declarada

Para delinear a aplicação optou-se por adotar como população universo as famílias de crianças atendidas em unidades de educação infantil municipais de Cascavel, que atendem em horário integral, até às 18 horas. Desta forma foi possível e viável determinar um tamanho de amostra com confiança para participar da pesquisa.

No ano letivo de 2000, quando foi feita a pesquisa de campo, havia aproximadamente 1870 crianças nas unidades municipais. Utilizando a fórmula (6.1) apresentada (Costa Neto, 2002) a seguir optou-se por tomar uma amostra com 85% de confiabilidade e um erro de 7%, o que proporcionou uma amostragem de 100 responsáveis, aproximadamente

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad \text{com} \quad n_0 = \left(\frac{z}{\varepsilon} \right)^2 \cdot 0,25 \quad (6.1)$$

onde, z é a confiabilidade,

ε o erro associado e

N o tamanho da população.

Determinado o tamanho da amostra a ser consultada, foi necessário decidir se a pesquisa exploratória seria feita com respostas espontâneas ou orientadas. Considerando-se que a população que seria entrevistada consistia de famílias de baixa renda, com baixo índice de escolaridade, optou-se por fazer uma pesquisa direcionada, mas dando a possibilidade de inclusão de novos candidatos a atributos por parte dos entrevistados.

Para determinação das características que seriam apresentadas nesta etapa foi aproveitado um convênio entre a Prefeitura Municipal de Cascavel – Seção de Educação Infantil com a Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Devido a este convênio, aconteciam reuniões semanais envolvendo profissionais de diversas áreas com interesse em educação infantil. Além de pedagogos, faziam parte da equipe profissionais da área médica, professores das unidades de educação infantil e representantes de pais. A frequência a estas reuniões permitiu uma ampla discussão sobre a pesquisa a ser desenvolvida e quais as características seriam interessantes de serem apresentadas. Além disso, também foram feitas entrevistas com pais antes de determinar quais atributos seriam apresentados.

Na pesquisa exploratória foi perguntado aos pais o que eles considerariam como mais importante ao escolher uma unidade de educação infantil. Foi apresentada uma lista com 16 possibilidades, mais espaços para eles acrescentarem novas características.

Estes atributos são apresentados na tabela 6.1 já com os percentuais de escolha. É possível observar que aparecem 17 atributos e não os 16, pois no espaço destinado a outras características foi citado, apenas, o atributo psicólogo.

Tabela 6.1: Resultado obtido nas entrevistas com os pais sobre os atributos importantes para uma unidade de educação infantil.

Atributos	Percentual
Médico	14%
Dentista	13%
Alfabetização	10%
Atividades Pedagógicas	10%
Alimentação	9%
Higiene e limpeza	9%
Formação das monitoras	8%
Espaço físico	6%
Horário de atendimento	5%
Proximidade de casa	5%
Número de crianças por sala	3%
Oferta de vaga	3%
Proximidade trabalho	2%
Nº total de crianças	1%
Outro filho na unidade	1%
Indicação de amigos	1%
Psicólogo	1%

Juntamente com esta etapa da pesquisa foi feito um levantamento sócio-econômico das pessoas entrevistadas. A intenção era determinar

características do público alvo que estava sendo trabalhado. Os resultados apresentados na tabela 6.2 mostram algumas destas características. É possível observar que 73% das famílias recebem até dois salários mínimos. Pelos resultados obtidos para a pergunta número de filhos, poderia-se dizer que 72% das famílias são compostas de pelo menos três pessoas. No entanto, havia uma pergunta específica quanto ao número de pessoas da família. Como resultado obteve-se que 89% das famílias eram compostas por pelo menos três membros, o que torna a renda per capita mensal destas famílias muito baixa. Justifica-se assim, o anseio da população entrevistada em ter médicos e dentistas nas unidades de educação infantil, pois desta forma garantiriam este atendimento a seus filhos sem necessidade de irem a postos de saúde onde podem não encontrar vagas para serem atendidos.

Tabela 6.2: Dados sócio-econômicos da população entrevistada.

DADOS SÓCIO ECONÔMICOS	
Renda Familiar	
Menos de 1 Salário Mínimo	18%
de 1 a 2 SM	55%
de 3 a 5 SM	27%
Número de filhos	
1	28%
2	22%
3	33%
4	13%
5 ou mais	04%
Anos de estudo dos pais	
Fundamental 1º ciclo incompleto	33%
Fundamental 1º ciclo completo	14%
Fundamental 2º ciclo incompleto	7%
Fundamental 2º ciclo completo	7%
Ensino Médio incompleto	14%
Ensino Médio completo	7%
não estudou	18%

Os resultados obtidos na pesquisa exploratória, apresentados na tabela 6.1 foram amplamente discutidos nas reuniões citadas anteriormente. Estas reflexões levaram a decidir pela retirada dos atributos médico e dentista. Isto se justifica, não só pelo fato de terem incidência bem maior do que os outros atributos questionados, como também por ser a grande reclamação dos pais. Além da possibilidade de poder provocar um desvio nos resultados da pesquisa de preferência declarada, a equipe envolvida no convênio, mesmo apresentando uma grande quantidade de profissionais da área de saúde, achou que esta responsabilidade não caberia à área de educação. Optaram por aproveitar esta informação para embasar discussões em outras instâncias.

Após reuniões com outros profissionais da área de educação infantil sobre os resultados e seus percentuais, apresentados na tabela 6.1, decidiu-se que os atributos alfabetização e atividades pedagógicas deveriam ser considerados como um único, pois a alfabetização estava diretamente relacionada com as atividades pedagógicas desenvolvidas pela criança durante o dia; assim como higiene e limpeza com espaço físico.

Desta forma na pesquisa de preferência declarada, foram considerados cinco atributos: atividades pedagógicas, alimentação, horário, espaço físico e formação das monitoras.

Para determinar os níveis de cada um dos cinco atributos foi necessário analisar os resultados da pesquisa sócio-econômica (tabela 6.2). Sabe-se que, muitas vezes, uma grande variedade dos níveis dos atributos pode dificultar o entendimento do experimento, o que leva a um desvio do resultado. Este fato, em conjunto com o baixo índice de escolaridade, como pode ser observado na tabela 6.2, foi determinante para que se decidisse por dois níveis de escolha para cada um dos cinco atributos.

Os atributos e seus níveis são listados a seguir:


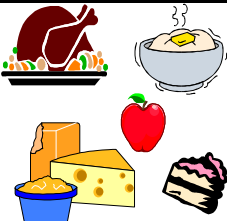
- Atividades Pedagógicas: Nível 0 – sem alfabetização
 Nível 1 – com alfabetização
- Alimentação: Nível 0 – pouco variada
 Nível 1 – bem variada
- Horário: Nível 0 – até às 18h
 Nível 1 – até às 19h
- Espaço físico: Nível 0 – pequeno e mal cuidado
 Nível 1 – limpo e arejado
- Formação das monitoras: Nível 0 – sem faculdade
 Nível 1 – com faculdade.

Faz-se necessária uma breve elucidação do porquê dos níveis do atributo horário. A escolha de 18 horas e 19 horas foi fruto de reivindicações de alguns pais junto ao Setor de Educação Infantil e das entrevistas feitas com os pais durante a pesquisa, já citadas anteriormente. A justificativa prática para alteração do horário é que, na época, os responsáveis tinham que retirar a criança da unidade de educação até às 18 horas. No entanto, muitas mães reclamavam que seus padrões queriam que elas trabalhassem também até às 18 horas e a ampliação do horário até às 19 horas diminuiria seus problemas.

No delineamento do experimento optou-se por não apresentar todas as combinações possíveis de níveis e atributos aos entrevistados, ou seja, utilizar o fatorial fracionário. As alternativas totalmente dominante e totalmente dominada foram excluídas, ficando o experimento com 28, das 32, alternativas possíveis. Este número ainda é alto para a capacidade de interpretação do ser humano (Miller, 1956 *apud*. Souza, 1999). Faz-se necessário dividir este conjunto de alternativas em grupos menores. Esta divisão pode ser feita através da técnica de confundimento. Neste trabalho adotou-se o processo empírico como utilizado nos trabalhos de Bastos (1994) e Freitas (1995), por exemplo.

No experimento os 28 cartões foram divididos em grupos de 4 alternativas, sendo que a listagem destes grupos encontra-se no anexo 1. Em todos os cartões os atributos foram apresentados na mesma ordem, sendo ela: horário, alimentação, área física, formação dos monitores e atividades pedagógicas. A escolha desta ordem foi baseada nos percentuais de cada um deles na pesquisa preliminar. Um exemplo de cartão é apresentado na figura 6.2.

No atributo formação dos monitores aparece o termo professor, pois este é o termo usado pela comunidade. Ele também aparece escrito no feminino, pois em todas as unidades de educação onde a pesquisa foi realizada não havia professores do sexo masculino atuando diretamente com as crianças.

HORÁRIO	ALIMENTAÇÃO	ÁREA FÍSICA	PROFESSORAS	ATIVIDADES
				
ATÉ ÀS 19H	BEM VARIADA	LIMPA E AREJADA	SEM FACULDADE	NÃO ALFABETIZANDO



HORÁRIO	ALIMENTAÇÃO	ÁREA FÍSICA	PROFESSORAS	ATIVIDADES
				
ATÉ ÀS 18H	POUCO VARIADA	SUJA E PEQUENA	COM FACULDADE	ALFABETIZANDO

Figura 6.2: Exemplo de cartões

Para fazer o cálculo dos valores dos coeficientes apresentados na seção 3.3, utilizou-se o programa LMPC de Souza (1999). A entrada de dados pode ser vista na figura 6.3. Foram selecionados os cinco atributos estudados.



Figura 6.3: Entrada de dados no programa LMPC.

Os resultados obtidos são apresentados na figura 6.4 a seguir. Analisando-os é possível verificar que a ordem de importância dos atributos na visão dos pais é: a área física do centro de educação, a alimentação fornecida pelo município, as atividades pedagógicas desenvolvidas pela criança durante o dia, a formação dos professores que atendem às crianças e o horário de atendimento do centro. No entanto, a discrepância entre os pesos atribuídos às características é considerável. O atributo área física tem um peso de 48,7% e a alimentação de 25,6%, enquanto o atributo horário tem

3,2%, a formação dos professores pesa 8,1% e as atividades pedagógicas 14,4%. Este resultado possibilita reflexões sobre o papel do centro de educação infantil perante a população de baixa renda.

O atributo área física, com quase 50% do peso relativo dos atributos, deve ser visto com bastante atenção. No planejamento de ampliação do sistema novas unidades podem ser construídas tentando atender aos anseios dos usuários, contemplando área amplas e bem cuidadas e não mais continuar com a prática de adaptar construções já existentes.

Outra análise que pode ser feita é sobre o peso atribuído à alimentação. O resultado também indica que, para a população de baixa renda, a alimentação na unidade de educação é importante para a família. Isto leva a uma necessidade de planejar para que se tenha uma alimentação balanceada nestas unidades de educação, tornando-se necessária a presença de um nutricionista para acompanhamento do cardápio.

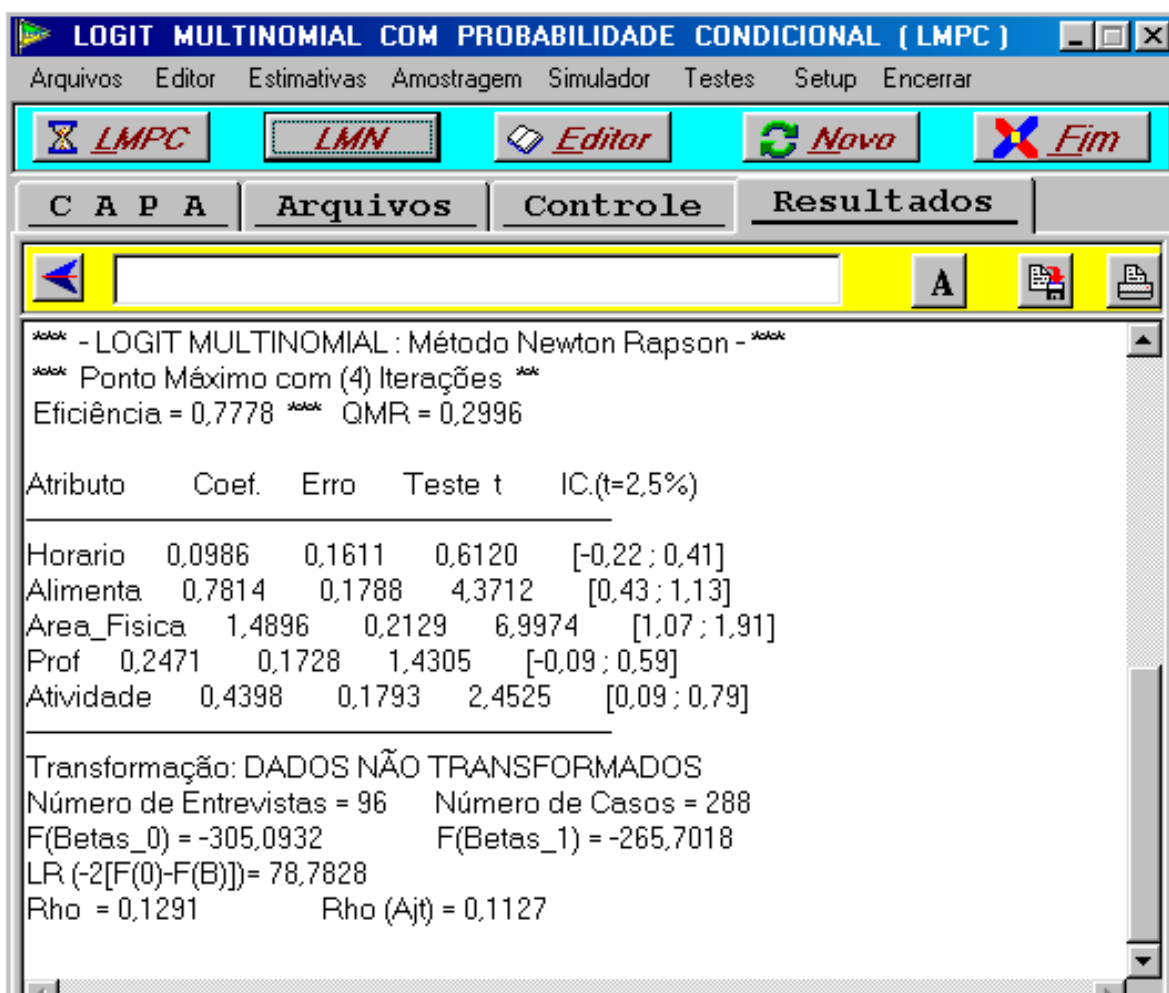


Figura 6.4: Resultados obtidos pelo pacote LMPC.

Se a análise for feita considerando-se o teste-t, apresentado junto com os resultados da figura 6.4, os atributos horário e formação dos professores seriam rejeitados. Os dois casos podem ser considerados incoerentes. A ampliação do horário é uma reivindicação dos pais junto à Secretaria; e o atributo formação dos professores vem antes do atributo área física na tabela 6.1.

O resultado indica, também, ainda haver necessidade de conscientização dos pais do que representa uma unidade de educação infantil

na formação das crianças. Uma formação adequada e mais especializada das professoras é importante na avaliação dos especialistas, no entanto teve um peso pouco significativo na pesquisa feita com os pais.

6.2.2 – Simulação Numérica

Na etapa de simulação foram feitos todos os cálculos apresentados na seção 5.3 utilizando valores reais. Estes valores foram obtidos de diferentes formas.

O cálculo de custos de pagamentos de salários foi feito usando os valores pagos a professores e funcionários pela Secretaria de Educação de Cascavel.

Para custos de alimentação e manutenção e limpeza foram usados valores obtidos junto a empresas prestadoras de serviço com as atualizações sugeridas pelas mesmas. Estes gastos são funções do número de crianças atendidas. O custo com manutenção e limpeza é função da área que, por sua vez, é função do número de crianças.

Para o cálculo de custos de alimentação também foi feito um experimento tomando como base o cardápio sugerido às unidades municipais de educação infantil de Cascavel. Foi feito um levantamento de preço do que é consumido em uma unidade e calculado o custo médio de alimentação por criança. Este valor ficou equivalente ao aplicado pelas empresas especializadas que prestam este serviço às unidades de educação infantil da cidade de Curitiba.

O cálculo de custos com material pedagógico apresentou grande dificuldade. Não há regulamentação específica para o assunto o que acarreta

desvios mais variados. Muitas vezes os gastos são feitos conforme disponibilidade de verbas, cabendo às unidades a adaptação ao que é ofertado.

Para o cálculo prático foram feitos levantamentos junto à prefeitura de Cascavel, considerando o que é solicitado pelas unidades de educação em conjunto com as licitações feitas pela Secretaria.

Como a prefeitura de Curitiba não terceirizou este setor não foi possível a pesquisa junto a empresas que fornecessem este tipo de serviço. A própria Secretaria é quem cuida deste setor e não forneceu nenhum dado. As visitas a unidades de educação infantil privadas, bem consideradas junto aos educadores, para levantamento desta informação, também não proporcionaram nenhuma resposta concreta.

Os valores de custos e pagamentos ficaram fixos no algoritmo. Variou a entrada de dados referente ao número de crianças nas três primeiras faixas etárias, como apresentado na seção 5.3. Estes números foram gerados de forma aleatória pelo programa e a quarta faixa etária calculada.

A tabela 6.3 mostra os valores correntes, em reais, utilizados para os custos com material pedagógico por criança e material de limpeza por metro quadrado, ambos, por mês, e o custo de alimentação por refeição por criança.

Tabela 6.3: Valores utilizados nos custos.

Material Pedagógico	Material de Limpeza	Alimentação
R\$6,00/mês	R\$4,00/mês	R\$2,00/criança-dia

Com o número total de crianças é possível determinar o número de professores, a área mínima, o número de funcionários e o custo total da unidade. Como consequência, tem-se o custo médio por criança em função do número total de crianças que serão úteis na etapa seguinte.

Na tabela 6.4 estão apresentados alguns resultados do número total de crianças e do custo médio mensal obtidos na simulação apresentada na seção 5.3. A listagem de todos os dados e resultados gerados é apresentada no anexo 2.

Tabela 6.4: Alguns resultados da simulação.

Número de Crianças	Custo Médio (R\$)
19	249,3
30	224
42	201,1
54	195,9
72	199,6
84	191,6
89	188,9
96	187,8
114	187,9
126	188,4
132	186,4
135	185
144	185,7
150	184
168	185,7
174	184,2
186	187,2

6.2.3 – Dimensionamento das unidades

Com os resultados obtidos na etapa de simulação foi possível aproximá-los determinando uma equação para a função do custo médio por

criança. Na figura 6.5 pode ser vista a representação gráfica dos dados obtidos pela simulação numérica bem como a representação gráfica da função quadrática obtida por aproximação polinomial.

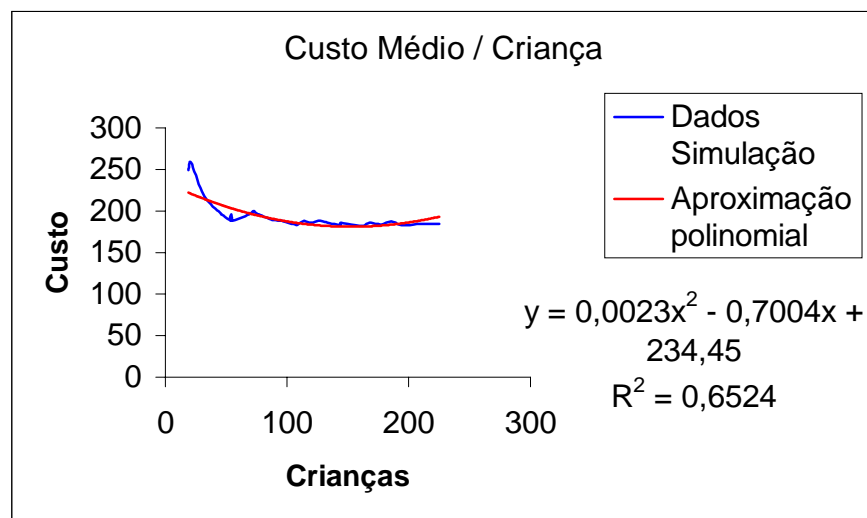


Figura 6.5: Gráfico obtido com os dados simulados e sua aproximação polinomial.

A função quadrática

$$f(x) = 0,0023x^2 - 0,7004x + 234,45 \quad (6.2)$$

tem como ponto de mínimo um valor para x de 152,26 e o valor da função de aproximadamente 181,128. Este valor pode ser obtido derivando-se a função (6.2) e igualando-a a zero.

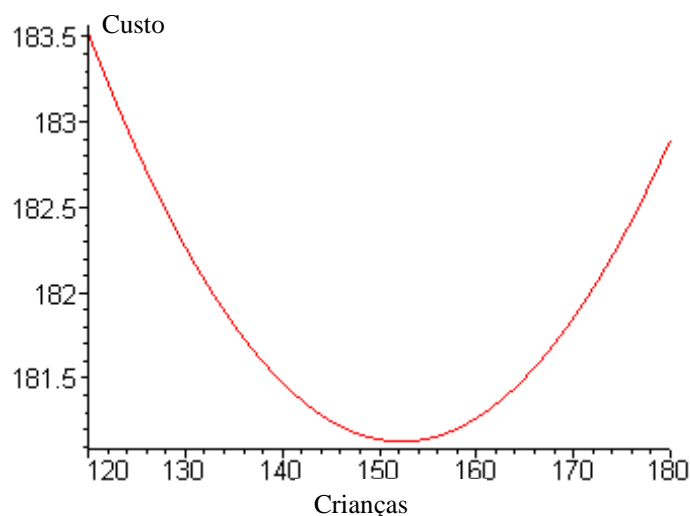


Figura 6.6: Esboço do gráfico da função quadrática

Ao observar-se a figura 6.6 é possível notar que, visualmente, existe um intervalo em torno do ponto mínimo onde a variação da função custo é pequena. Se, por exemplo, for feita uma aproximação para 150 para o número de crianças de uma unidade de educação infantil isto vai acarretar uma diferença no valor da função custo médio de 0,006%.

Esta análise de sensibilidade dá fundamento à utilização do número médio de 150 crianças por unidade de educação no sistema. Observa-se que na literatura é citado, sem muitas explicações, que o número médio seria de 140 crianças (Rizzo, 1989).

Para analisar a sensibilidade dos resultados foram feitos testes variando os valores adotados e também utilizando o novo valor do salário mínimo nacional. Os resultados destes testes são listados no anexo 3. Nestas listagens também são encontradas as representações gráficas, as aproximações polinomiais e o valor do ponto mínimo aproximado destas funções. Observa-se que mesmo alterando os valores numéricos o resultado que produz um custo médio mínimo continua sendo em torno de 150 crianças.

Desta forma, é possível contemplar os anseios dos pais, ou seja, ter unidades de educação infantil ofertando serviços de qualidade na alimentação, na manutenção física da unidade, nas atividades pedagógicas desenvolvidas e, ainda assim, ser viável para as prefeituras, uma vez que obtém-se um custo médio mínimo ao adotar o dimensionamento em torno de 150 crianças por unidade.

6.2.4 – Dimensionamento do sistema

Para fazer o dimensionamento do sistema é necessário ter dados da região o mais próximo do real e o mais discretizados possível. Para a cidade de Cascavel foram obtidos junto ao IBGE informações por setores censitários relativos ao Recenseamento de 1991 (IBGE, 1991).

Como os dados disponíveis eram de 1991, fez-se uma projeção tomando como base o crescimento da população do município de Cascavel de 1991 para 2000. Isto foi necessário pois os dados discretizados obtidos pelo recenseamento de 2000 não se encontravam disponíveis para consulta ou compra.

Dentre os dados sócio-econômicos disponibilizados pelo IBGE alguns foram utilizados. Deles tem-se que a soma do número de famílias que não têm rendimentos com as que recebem até dois salários mínimos representa 49,6% do número total de famílias da região.

A escolha de considerar famílias com renda familiar de até dois salários mínimos foi feita com base nas regras da Secretaria de Educação de Cascavel e adotadas pelas unidades municipais de educação infantil.

Como citado no capítulo 3, o Plano Nacional de Educação (Brasil, 2001) trata também da ampliação da oferta de vagas na educação infantil. Indica como percentuais a serem alcançados no prazo de 5 anos, 30% e 60% das crianças de 0 a 3 anos e de 4 a 6 anos de idade, respectivamente, freqüentando uma unidade de educação infantil.

Desta forma seria necessário que as informações do número de crianças fossem separadas por idade. Como O IBGE não possuía esta informação optou-se por escolher uma média entre os percentuais a serem

alcançados, isto é, 45% das crianças de 0 a 6 anos devem ser atendidas neste prazo.

Para poder determinar uma aproximação do número de crianças a serem atendidas pelo sistema, considerou-se que elas são uniformemente distribuídas pelas classes sociais. Desta forma, do número total de crianças na cidade de 0 a 6 anos de idade, tem-se que 49,6% delas são candidatas a freqüentarem uma unidade de educação infantil.

Os cálculos de dimensionamento do sistema podem ser sintetizados da seguinte forma:

$$NC_{2SM} = NTC * 0,496$$

$$NC = NC_{2SM} * 0,45$$

$$NUE = NC / 150$$

onde,

- NC_{2SM} é o número de crianças com renda familiar até 2 salários mínimos,
- NTC é o número total de crianças,
- NC é o número de crianças a serem atendidas por unidades de educação,
- NUE é o número de unidades de educação a formar o sistema.

Após os cálculos, obtém-se como resultado o número de 46 unidades municipais de educação infantil a comporem o sistema no prazo de 5 anos, atendendo 45% das crianças de 0 a 6 anos, dentro dos parâmetros estabelecidos pela prefeitura.

6.2.5 – Localização das Unidades

Determinado o dimensionamento do sistema é preciso encontrar uma boa localização para estas unidades. Para isto, conforme citado no capítulo 5, a metodologia de medianas é aplicada utilizando-se para isto o programa Spring do INPE.

Para fazer esta aplicação com o programa Spring é necessário ter a imagem da região geo-referenciada. Como isto não estava disponível, uma figura da cidade, fornecida pela Secretaria de Planejamento Urbano de Cascavel, com auxílio de equipamentos específicos de navegação, foi então geo-referenciada.

A divisão da região em setores censitários foi fornecida pelo escritório regional de Cascavel do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Esta divisão foi posta na imagem da cidade.

A figura 6.7 contém a imagem do contorno da cidade de Cascavel, com a divisão de seus setores censitários. Estes são 126 no total. Eles serão considerados como os candidatos a receberem uma mediana, ou seja, uma unidade de educação infantil.

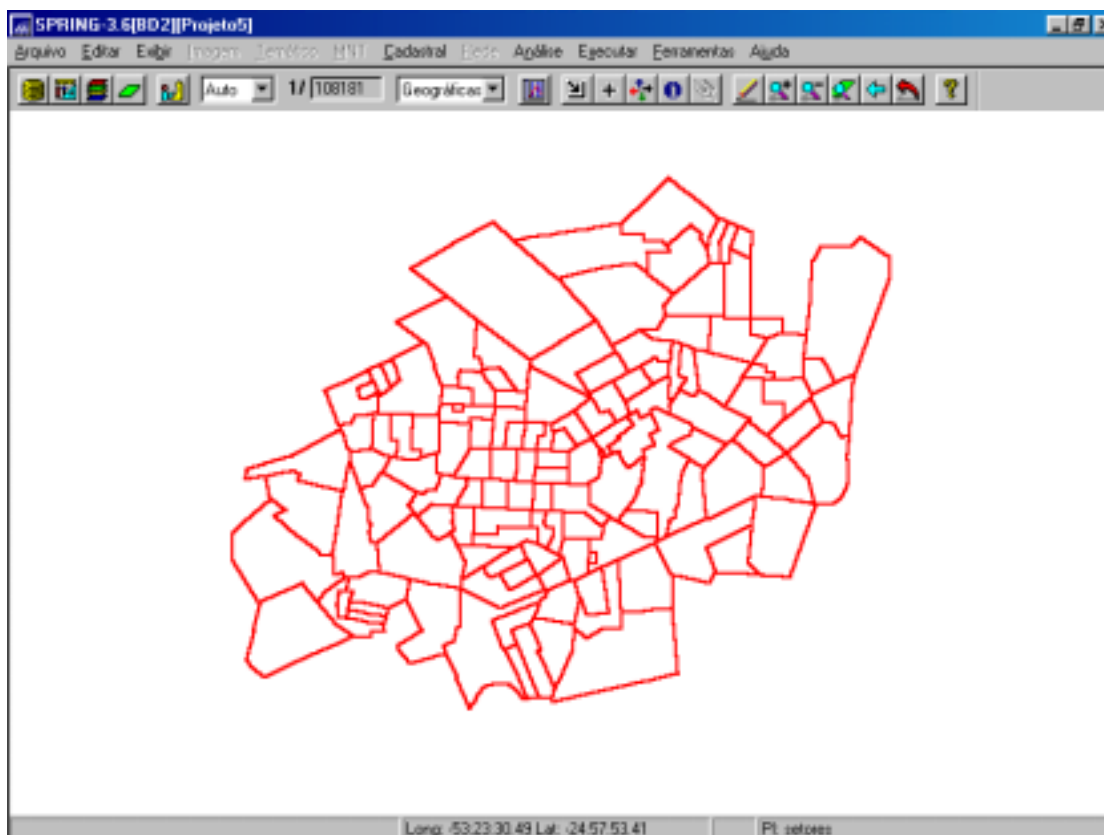


Figura 6.7: Imagem de Cascavel com seus setores censitários.

A cada setor foi associado um peso. Dentre os dados fornecidos pelo IBGE, optou-se por calcular os pesos como o somatório das proporções de famílias com renda até dois salários mínimos; famílias com chefes declaradamente mulheres e famílias com chefes analfabetos. A listagem com os valores para o cálculo destes pesos está apresentada no anexo 4, ela contém as informações sobre todos os setores.

A associação dos pesos com os setores censitários usados no programa de cálculo das medianas está apresentada na figura 6.8 a seguir. Na tabela são apresentados o número do setor, sua área, seu perímetro e o peso, como pode ser melhor observado na figura 6.9. Os valores área e perímetro são gerados pelo próprio programa e utilizados para outras funções.

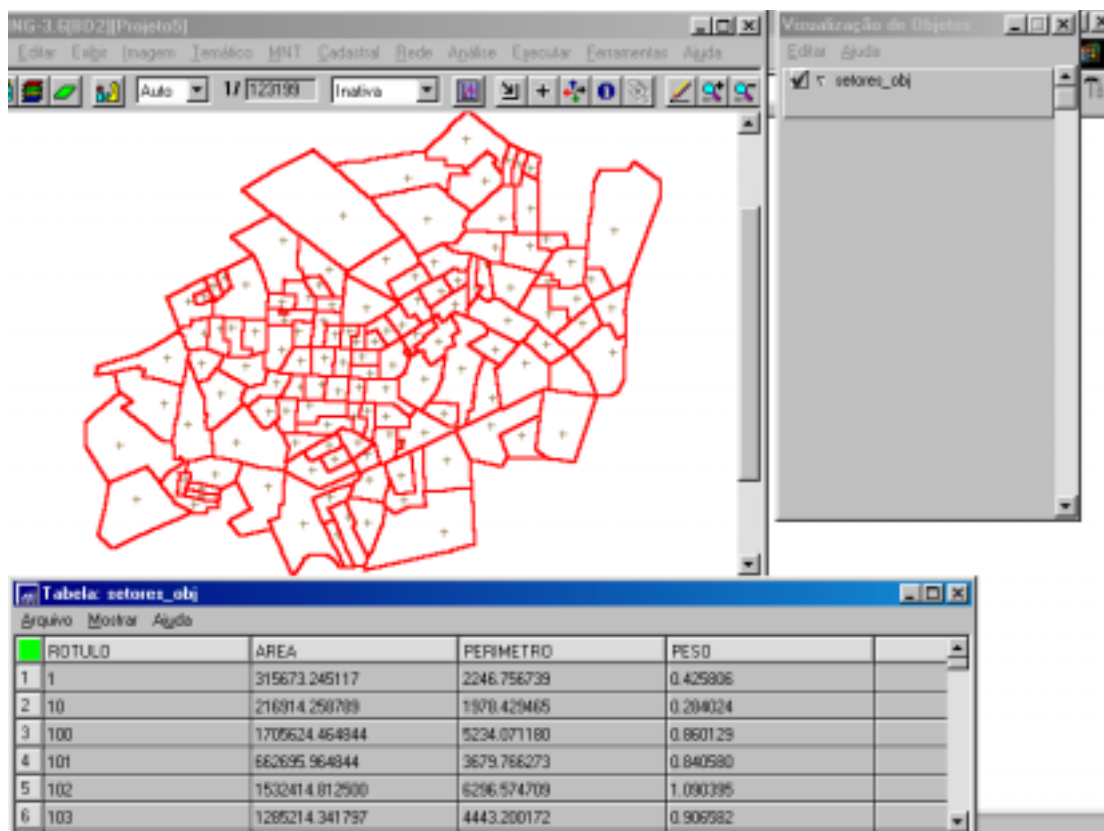


Figura 6.8: Associação dos setores com os pesos.

Tabela: setores_obj				
Arquivo Mostrar Ajuda				
	TITULO	AREA	PERIMETRO	PESO
1	1	315673.245117	2246.756739	0.425906
2	10	216914.258799	1978.429465	0.204024
3	100	1705624.464844	5234.071180	0.860129
4	101	662695.964844	3679.766273	0.840590
5	102	1532414.812900	6296.574709	1.090395
6	103	1285214.341797	4443.200172	0.906582
7	104	3067596.479516	8139.081035	0.796364
8	105	664115.798828	5235.173328	0.684090
9	106	466602.822266	2844.027333	0.519582
10	107	562401.806719	3007.097030	0.694901
11	108	740468.361328	3828.255267	0.671260
12	109	560157.863281	3841.147667	0.878049
13	11	263116.566406	2115.577436	0.264706
14	110	286279.585703	2819.729937	1.071782
15	111	384085.602539	3116.743299	0.839721
16	112	2187595.906250	9496.952064	0.763636
17	113	1460201.019625	5582.015002	0.980938
18	114	715315.964844	3511.467037	0.728125
19	115	146381.389648	1940.343655	0.644128
20	116	134075.834961	1944.088184	0.685714
21	117	122942.815430	1512.372322	0.685393
22	118	508565.095703	4663.986603	1.025189
23	119	2314206.800781	6230.101499	0.938547
24	12	352039.041016	2364.778379	0.369318
25	120	2698636.488281	7801.753443	1.125000
26	121	1256577.339844	5951.305791	1.071502

Figura 6.9: Tabela com informações de setores e pesos.

A etapa seguinte consiste em calcular a localização das 46 medianas, representando as unidades de educação que devem compor o sistema. A figura 6.10, a seguir, apresenta esta etapa.

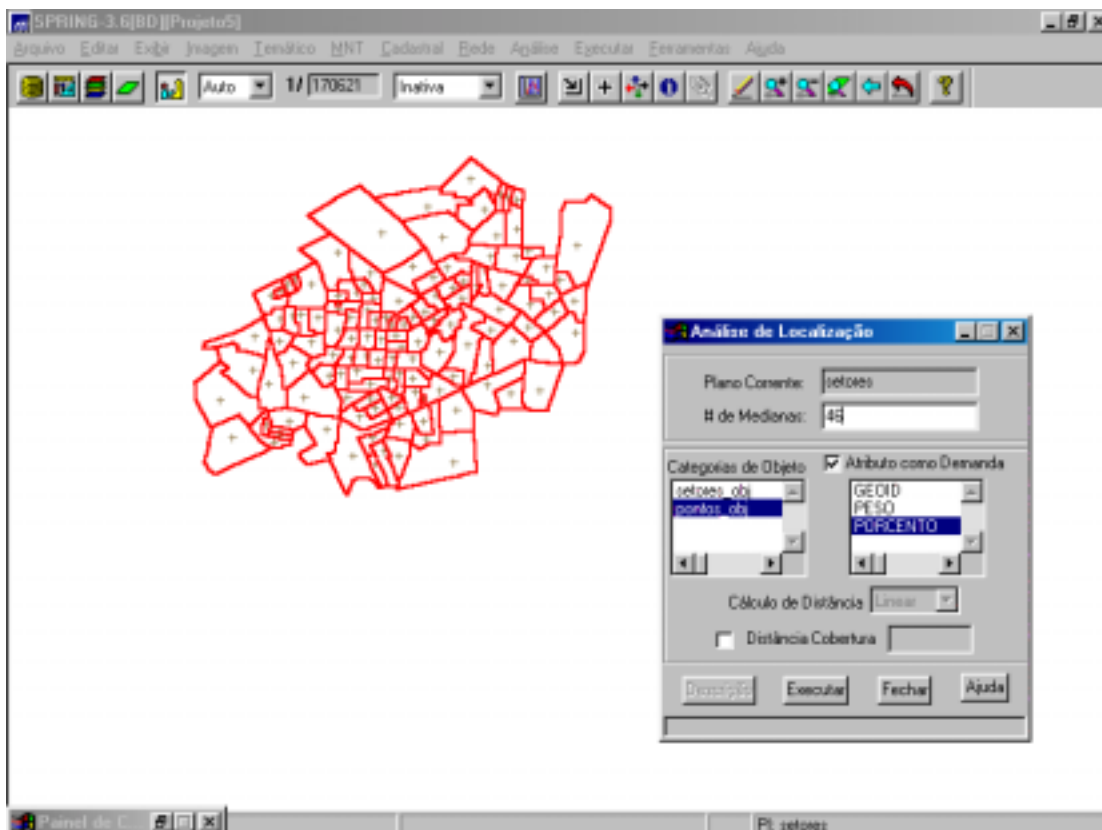


Figura 6.10: Etapa de cálculo das 46 medianas.

A resposta obtida para a localização das 46 medianas está apresentada na figura 6.11. Nela pode-se observar a localização das medianas nos setores censitários. O programa também produz como resposta um arquivo de leitura com as coordenadas das medianas e também, a alocação dos outros pontos às medianas (anexo 5).

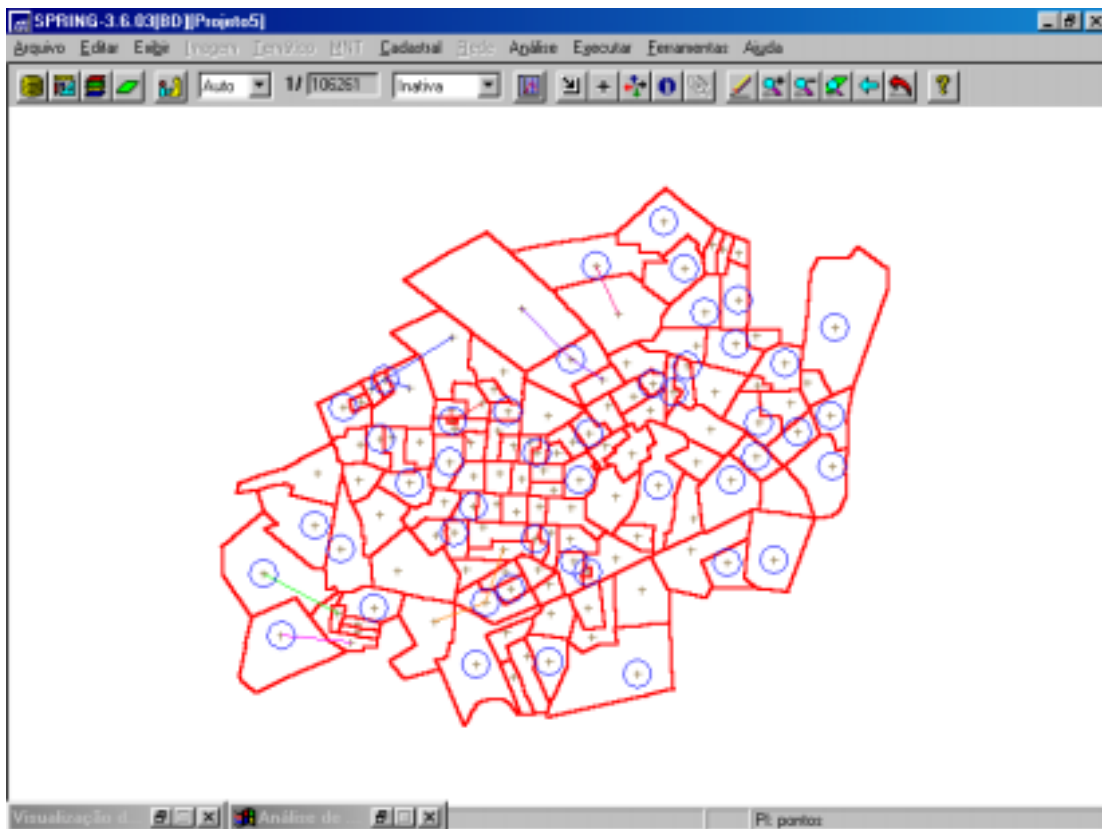


Figura 6.11: Localização das 46 medianas obtida pelo programa

Para uma melhor visualização da distribuição das medianas pelos setores censitários a figura 6.12 a seguir apresenta a localização delas.

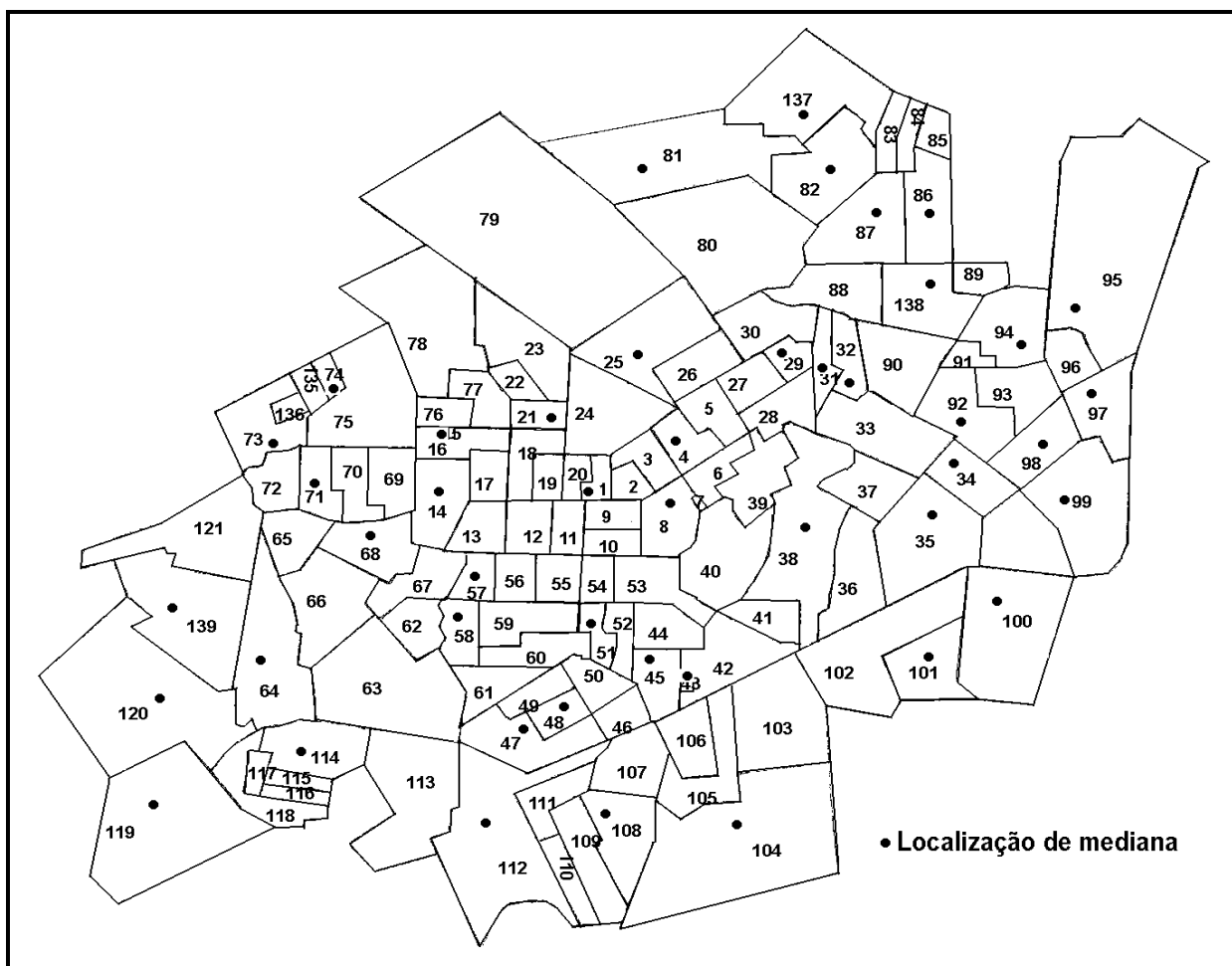


Figura 6. 12: Localização das 46 medianas nos setores censitários.

A tabela 6.5 apresenta as áreas de cobertura de cada uma das 46 medianas. Na primeira coluna é apresentado o número do setor onde há uma mediana e na subsequente os números dos setores a ele alocados.

Tabela 6.5: Alocação dos setores pelas medianas.

Mediana	Setores Alocados:				
1	20	9	2	19	11
4	3	6	5	24	
8	7	10	53	40	54
14	13	16	69		
15	76	17	77		
21	18	22	23		
25	26	79			
29	27	30			
31	28	90			
32	88				
34					
35	37				
38	39	36	41		
43	42	106	103		
45	44	46	50		
47	113	60			
48	111	107			
51	49	52	55		
57	56	67	12		
58	59	61			
64	63				
68	66	62			
71	70	65			
73	136	72			
74	135	75	78		
81	80				
82	83				
86	85				
87	84				

92	91	33
94	96	
95		
97		
98	93	
99		
100		
101	102	
104		
108	109	105
112	110	
114	116	115
119	118	
120	117	
137		
138	89	
139	121	

Para complementar a tabela anterior, a figura 6.13 apresenta a alocação dos setores pelas medianas. Pode-se notar que a maioria das regiões alocadas às unidades são regiões conexas, mas isso não vale para todas elas. Existem medianas que ficaram com suas regiões desconexas.

Isso se justifica pois o programa para o cálculo da localização das medianas transforma as regiões em pontos. Como as regiões, em sua maioria, não possuem formas convexas, o programa não considerou que poderia haver entre dois setores um outro. Dependeria de onde estava localizado o centróide do setor. Um exemplo disto pode ser observado no setor 105. Ele tem um prolongamento avançando entre o setor 106 e 103.

Desta forma é conveniente uma nova distribuição dos setores pelas medianas existentes.

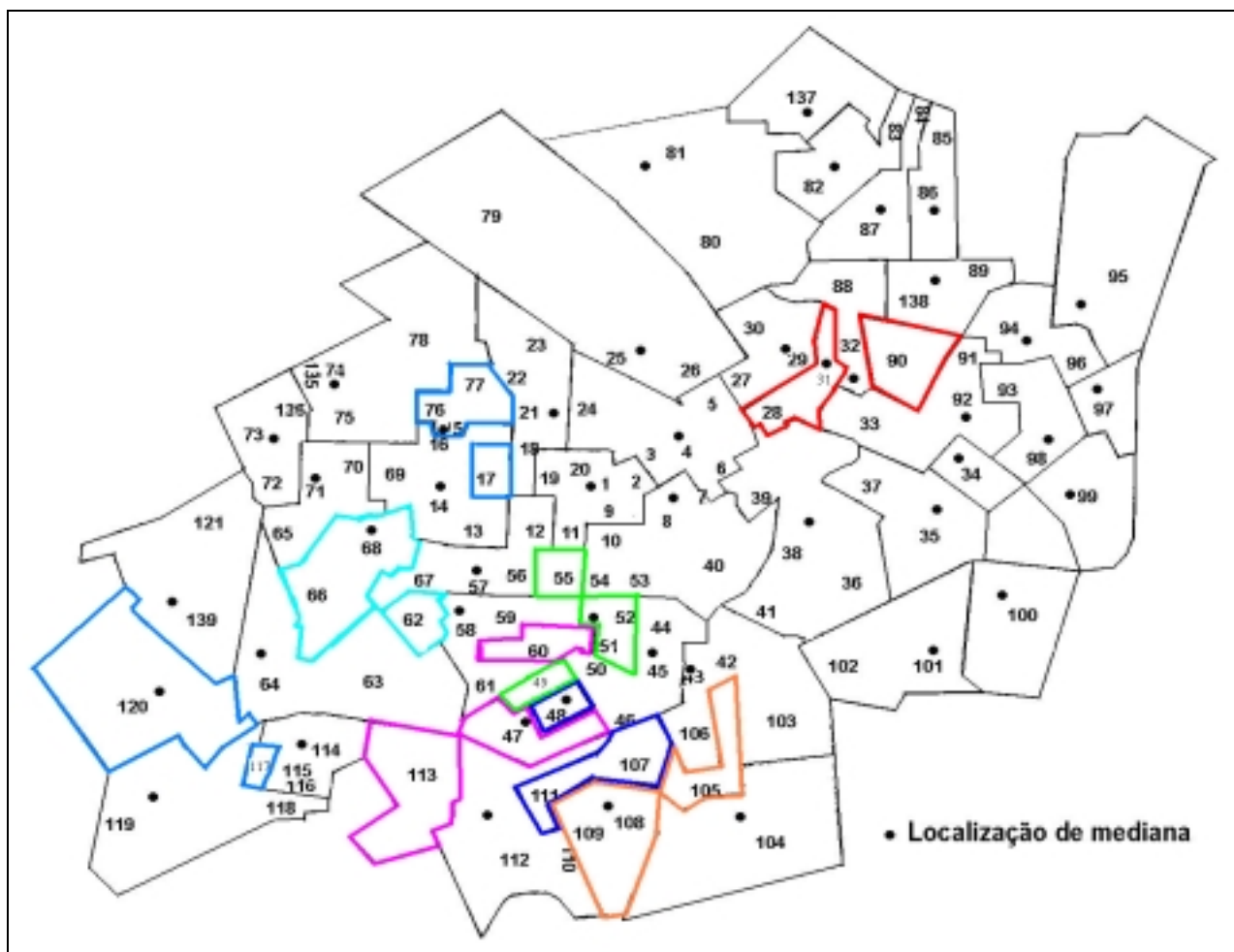


Figura 6.13: Alocação dos setores pelas medianas.

6.2.6 – Áreas de Abrangências

Obtida a localização das medianas (unidades de educação infantil), faz-se necessário determinar suas áreas de abrangências, ou seja, a sub-região da área estudada atendida por cada unidade.

Se não tivesse ocorrido o problema de não conexidade das regiões, a solução obtida pelo programa do cálculo das medianas já poderia ser considerada como as áreas de abrangências. No entanto, este fato ocorre e dificulta a operacionalização do sistema. Um operador pode ter dificuldades em determinar para qual unidade de educação uma determinada família deve se dirigir e também justificar esta escolha. Por exemplo, observando-se a figura 6.13, uma família que more no prolongamento do setor 105 ter que freqüentar uma unidade no setor 108 e não no 43 não parece compreensível para a população.

Desta forma a utilização dos diagramas de Voronoi ordinários é justificado, pois assim todas as crianças serão alocadas às unidades de educação mais próximas. Para determinar este diagrama foi feito um programa cujas entradas são as coordenadas das medianas (anexo 6).

Esta divisão está apresentada na figura 6.14.

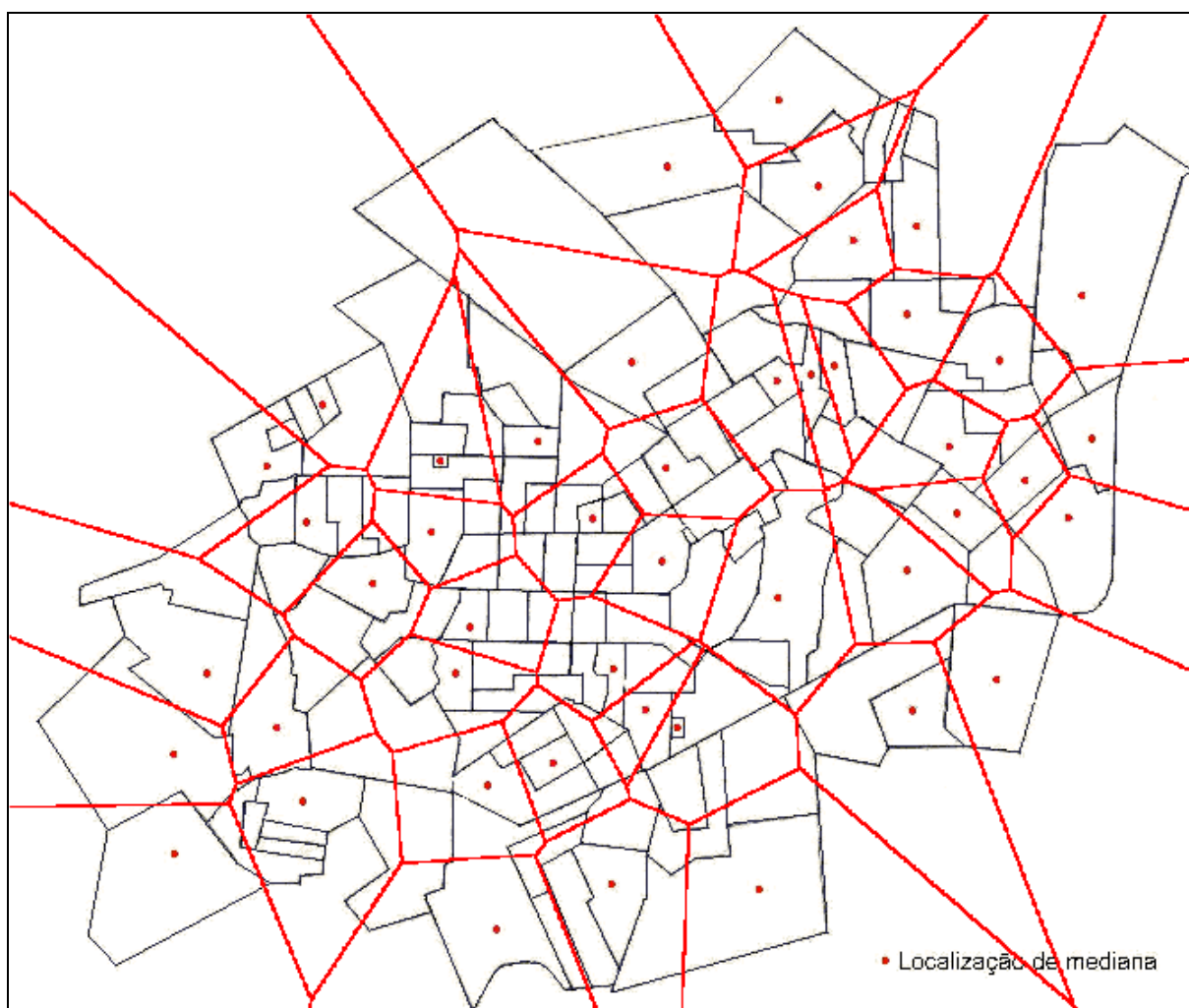


Figura 6.14: Divisão da região por diagramas de Voronoi.

Observa-se, então, que a nova divisão do espaço resulta em regiões conexas e convexas, mais fáceis de serem compreendidas pela população.

6.3 – Resultados

Para fazer uma análise dos resultados é interessante saber como está o sistema de educação infantil da cidade de Cascavel. O sistema é composto por 25 unidades e na tabela 6.6 são apresentados alguns dados. Nela podem

ser encontrados o número do setor censitário onde está localizada a unidade de educação, o número de crianças atendidas por cada uma das unidades, bem como quantas crianças estão na lista de espera destas unidades. Este panorama representa o sistema no dia primeiro de dezembro de 2002.

Tabela 6.6: Situação do sistema de educação infantil em Cascavel.

Setor da Unidade de Educação	Num Crianças Atendidas	Num Crianças Lista Espera
23	54	29
30	66	103
32	48	98
50	61	66
59	62	83
70	56	84
72	88	114
77	56	76
80	67	26
81	102	258
82	76	107
85	65	81
86	175	240
94	72	70
96	80	69
99	57	31
100	81	11
101	54	89
105	112	127
109	82	49
113	94	77
115	81	20
119	58	12
121	190	69
138	77	89
TOTAL	2014	2078

Fonte: Cascavel, 2002.

Pela tabela 6.6 é possível fazer algumas observações. Existem poucas unidades com o número de crianças atendidas próximo do intervalo ótimo obtido no decorrer deste trabalho, que seria em torno de 150 crianças. Observa-se também que o número de crianças na lista de espera é maior do que o número de crianças atendidas pelo sistema. Nota-se também que não

existe um padrão para o tamanho da unidade de educação, há uma variação entre 54 e 190 crianças atendidas.

Atenta-se ainda que em 14 das 25 unidades de educação a lista de espera é maior do que o número de crianças atendidas. É possível que este número seja muito maior, pois muitos pais não acreditam que a lista de espera funcione e então não chegam a se inscrever. Esta observação é fruto de reuniões com membros da Secretaria de Educação e das entrevistas com os pais na etapa de preferência declarada.

Os dados fornecidos pela Secretaria de Educação (Cascavel, 2002) estão bem discretizados. Pode-se observar que as 25 unidades de educação têm em conjunto 101 salas em funcionamento. Isto daria, em média, 20 crianças por sala. Observando-se a tabela 3.1, este número só seria aceito para a faixa etária de 5 a 6 anos. Uma nova análise destes dados comprova que a grande maioria das salas estão com suas capacidades estouradas considerando os limites da tabela 3.1.

Esta análise explica os anseios dos pais ao responderem na pesquisa de preferência declarada que o importante é a área física ser ampla, arejada e limpa.

A figura 6.15 mostra a localização das unidades de educação em funcionamento na cidade de Cascavel.

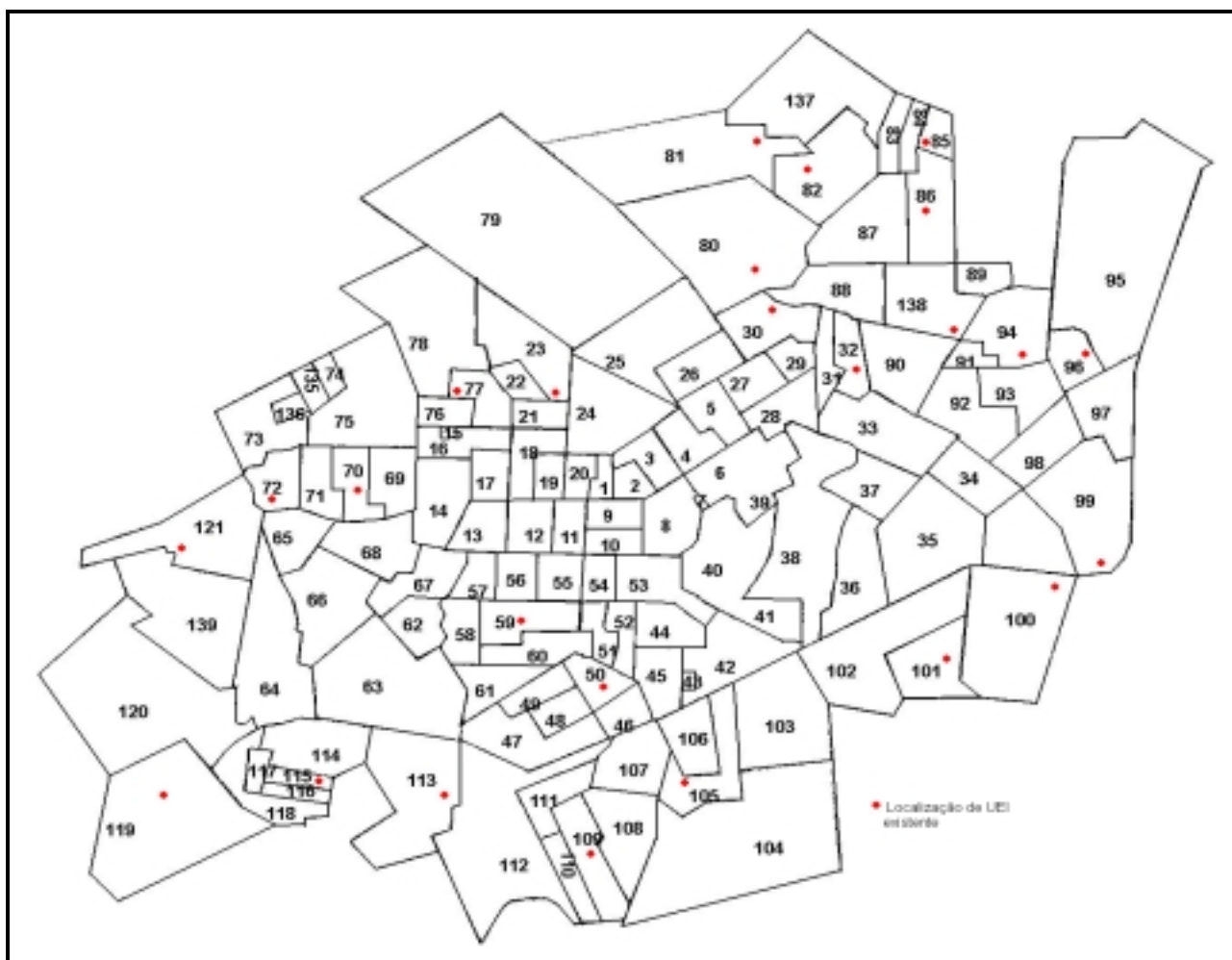


Figura 6.15: Localização das unidades municipais de educação infantil existentes.

Ao observar-se a figura 6.15 nota-se que as unidades de educação são concentradas na periferia da cidade, ficando a região central praticamente descoberta. Entende-se que a prioridade do governo municipal tenha sido dar cobertura a população mais carente.

No entanto, ao fazer-se o cálculo para localização de 25 medianas tem-se que elas ficariam distribuídas por toda a cidade. O resultado da localização e alocação destas medianas está apresentado na figura 6.16. Nela também estão marcadas as localizações da 25 unidades de educação existentes.

Observa-se que das regiões de abrangência das 25 medianas, tem-se em 7 regiões duas unidades de educação das existentes, e em 8 delas nenhuma unidade de educação. Isso é justificado pela concentração das unidades na periferia da cidade.

Como a proposta deste trabalho prevê a instalação de 46 unidades de educação, este número contemplaria, não só, a todas as crianças na lista de espera, como ainda seria capaz de atender outras crianças. Principalmente se as unidades existentes passassem a funcionar com o dimensionamento de 150 crianças sugerido.

No entanto, um sistema de educação não pode passar de 25 para 46 unidades de uma só vez. Para isso faz-se necessário um planejamento para a implementação gradativa de novas unidades. Sugere-se que a escolha seja baseada em um índice de necessidade (Lobo, 1998; Lobo e Gonçalves, 2001) para cada uma das 46 regiões.

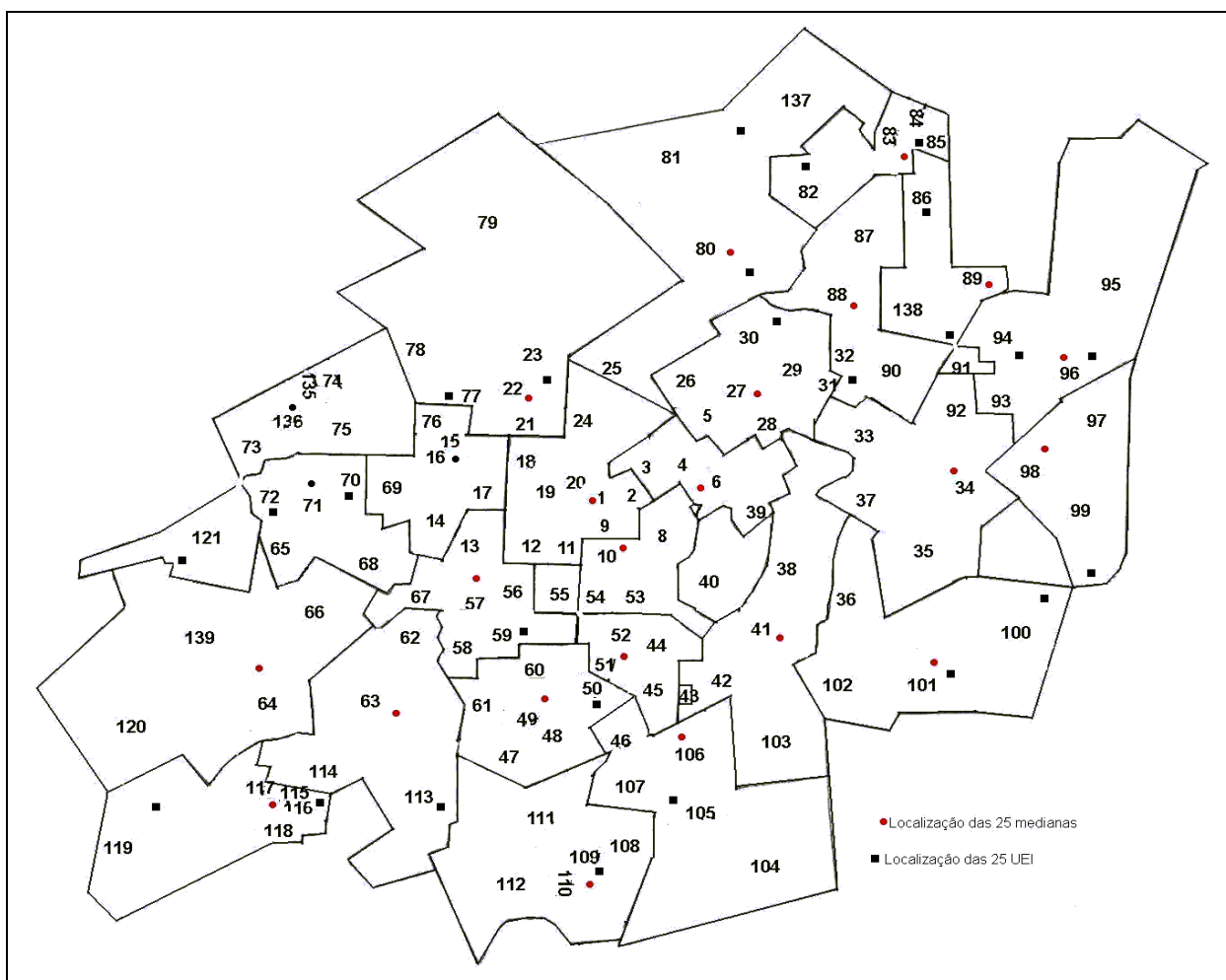


Figura 6.16: Localização das 25 medianas e das 25 UEI existentes.

Este cálculo pode ser feito com base na tabela 6.5. Nela encontram-se os setores de cada uma das 46 medianas, bem como os setores a elas alocados. Podem ser somados os pesos, já utilizados anteriormente na seção 6.2.5, de todos os setores por conjunto de mediana. O resultado destas somas está listado no anexo 7.

A tabela 6.7 apresenta em ordem decrescente de necessidade as 46 medianas e os setores a elas alocados.

Tabela 6.7: Ordem de implementação das unidades de educação.

Mediana	Alocados:				
47	113	60			
82	83				
58	59	61			
1	20	9	2	19	11
139	121				
14	13	16	69		
74	135	75	78		
108	109	105			
68	66	62			
71	70	65			
15	76	17	77		
31	28	90			
21	18	22	23		
73	136	72			
81	80				
51	49	52	55		
38	39	36	41		
48	111	107			
8	7	10	53	40	54
98	93				
57	56	67	12		
114	116	115			
45	44	46	50		
92	91	33			

43	42	106	103	
94	96			
29	27	30		
119	118			
86	85			
101	102			
120	117			
112	110			
64	63			
4	3	6	5	24
87	84			
25	26	79		
32	88			
138	89			
97				
137				
35	37			
95				
99				
100				
104				
34				

A escolha para determinar a ordem de implementação pode se basear não só neste índice de necessidade, como também na informação de existência ou não de uma unidade de educação neste conjunto.

Faz-se necessário comparar estes resultados com as informações da tabela 6.6, onde é possível encontrar os números dos setores onde existem unidades de educação em funcionamento.

Pode-se notar que pelos resultados obtidos o conjunto com maior índice de necessidade é o que tem mediana no setor 47. No entanto, como já existe uma unidade de educação no setor 113, associado a mediana do setor 47, deve-se analisar o próximo conjunto.

Os conjuntos seguinte já possuem unidades de educação nos setores 82 e 59. Desta forma, pela proposta aqui apresentada, a próxima unidade de educação a ser construída deve ser no setor 1.

A seguir o setor 121 já apresenta uma unidade, passando então, as próximas a serem construídas nos setores 14 e 74. Desta forma, continua a análise conforme houver verba disponível para a ampliação do sistema.

A escolha de não utilizar neste momento a quantidade de crianças por conjunto de mediana foi feita, pois acredita-se ser mais justo a existência de unidades de educação espalhadas por toda a região, atendendo desta forma crianças por toda a cidade.

Capítulo 7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 – Conclusões

Com os resultados obtidos na aplicação apresentada no capítulo 6 pode-se concluir:

- Uma unidade de educação infantil tem um bom dimensionamento quando atende aproximadamente 150 crianças.
- O dimensionamento, considerando-se os aspectos de custos, não depende das informações particulares de uma região. Ele é mais abrangente em seus cálculos sendo, então, uma contribuição relevante.
- A pesquisa de preferência declarada pode ajudar a entender as necessidades das famílias e a melhorar os serviços ofertados nas unidades de educação.
- É importante para análise da localização das unidades informações bem discretizadas sobre a região de estudo para facilitar na determinação da escolha de composição dos pesos dos pontos candidatos.

- Para a determinação da localização das unidades de educação o modelo matemático a ser empregado deve ser de fácil compreensão e manuseio.
- Pacotes computacionais podem facilitar no desenvolvimento do estudo, pois alguns já apresentam modelos de localização em seus conjuntos de programas.

7.2 – Recomendações para trabalhos posteriores

- Utilizar as informações contidas nas listas de espera das unidades de educação para compor o índice de necessidade, bem como simular a ampliação da capacidade de atendimento das unidades existentes para determinação das localidades das novas unidades de educação infantil.
- A utilização de informações dos setores censitários mais discretizadas do que as aqui obtidas. Desta forma, é possível pensar no cálculo dos pesos envolvendo características mais precisas e talvez mais úteis do que as utilizadas no desenvolvimento deste estudo. O mesmo acontecendo para o cálculo do dimensionamento do sistema.
- A busca de pacotes computacionais que interajam no cálculo da localização e na determinação da área de abrangência das unidades. Assim haverá uma maior rapidez e agilidade no desenvolvimento de estudos em outras regiões.
- O acompanhamento das regulamentações do setor de educação infantil de forma a sedimentar e justificar ainda mais trabalhos desenvolvidos nesta área, pois estas regulamentações podem vir a

facilitar cálculos que hoje ainda são obtidos de forma mais observativa, como o caso do cálculo do custo de alimentação. Desta forma, o algoritmo desenvolvido na etapa de simulação pode ficar embasado em mais regulamentações governamentais.

No desenvolvimento deste estudo também foram encontradas algumas limitações. Dentre elas devem ser destacadas as dificuldades computacionais, pois a formatação de saída de um software não era compatível com a alimentação do programa utilizado posteriormente, a dificuldade da obtenção de dados discretizados para serem utilizados na composição dos pesos ou como parâmetros de comparação com resultados obtidos, e a dificuldade de acesso a dados reais quando eles dizem respeito a valores monetários de cobrança, custos ou gastos. No entanto, todas estas limitações foram contornadas no decorrer do trabalho.

Para concluir fica o registro de que as necessidades das crianças e suas famílias, constatadas pela aplicação prática deste estudo, junto com a esperança que os pais têm em trabalhos desenvolvidos pelas universidades, fazem com que se acredite e constate que muito ainda há que ser feito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, L. M. W. Desenvolvimento de uma metodologia para análise de sistemas educacionais usando modelos de interação espacial e indicadores de acessibilidade. Florianópolis, 1999. Tese de doutorado – Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.
- ALMEIDA, L. M. W.; GONÇALVES, M. B. A methodology to incorporate behavioral aspects in trip-distribution models with an application to estimate student flow. *Environment and Planning A*, volume 33, p. 1125-1138, 2001.
- AMORIM, K. S.; ROSSETTI-FERREIRA, M. C. Creches com qualidade para a educação e o desenvolvimento integral da criança pequena. *Psicologia Ciência e Profissão*, volume 19, número 2, p. 64-69, 1999.
- BACH, L. Locational models for systems of private and public facilities based on concepts of accessibility and access opportunity. *Environment and Planning A*, volume 12, p. 301-320, 1980.
- BASTOS, L.C. *Planejamento da rede Escolar: : uma abordagem utilizando técnicas de preferência declarada*. Florianópolis, 1994. Tese de doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina

- BEASLEY, J. E. An algorithm for set covering problem. *European Journal of Operational Research*, v. 31, p. 85-93, 1987.
- BEASLEY, J. E.; CHU, P. C. A genetic algorithm for set covering problem. *European Journal of Operational Research*, v. 94, p. 392-404, 1996.
- BEGUIN, H.; THOMAS, I.; VANDENBUSSCHE, D. Weight variations within a set of demand points, and location-allocation issues: a case study of public libraries. *Environment and Planning A*, v.24, p.1769-1779, 1992.
- BEM-AKIVA, M. E.; LERMAN, S. R. *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*. Cambridge: MIT Press, 1985 (MIT Press Series in Transportation Studies)
- BOWERMAN, R.; HALL, B.; CALAMI, P. A multi-objective optimization approach to urban school bus routing formulation and solution method. *Transportation Research A*, v.29, n.2. p. 107-123, 1995.
- BRASIL. *Lei de Diretrizes e bases da Educação Nacional*, lei nº 4024 de 20 de dezembro de 1961.
- _____. *Lei de Diretrizes e bases da Educação Nacional*, lei nº 5692 de 31 de agosto de 1971.
- _____. *Lei de Diretrizes e bases da Educação Nacional*, lei nº 9394 de 20 de dezembro de 1996.
- BRASIL. *Constituição: República Federativa do Brasil*, 1988. Brasília: Brasiliense, 1989.

- _____. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPOSTO. *Subsídios para o credenciamento e funcionamento de instituições de educação infantil*. Vol.1,2,3. MEC/CEF/DPE/ COGEI. Brasília, 1998.
- _____. *Plano Nacional de Educação*, lei nº 10.172 de 09 de janeiro de 2001.
- CAMARA G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.
- CAMARGO, O., GONÇALVES, M. B., LIMA, M. L. P. Comparação entre as estratégias de ordenação e de avaliação em preferência declarada aplicadas ao transporte de soja no oeste Paranaense In: XIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, 2000, Gramado. *Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2000*. Santa Maria – RS: Gráfica Editora Pallotti, 2000. v. único. p.459 – 469
- CAMPOS, M. M.; ROSEMBERG, F.; FERREIRA, I. *Creches e Pré-Escolas no Brasil*. São Paulo: Cortez: Fundação Carlos Chagas, 1993.
- CASCAVEL. Secretaria Municipal de Educação. Divisão de Documentação Escolar e Estatística. *Quadro Estatístico dos Centros de Educação Infantil*. Cascavel: DDEE, 2002. 6p.
- CHRISTOFIDES, N. *Graph Theory: an algorithmic approach*. London: Academic Press, 1975.
- CHRISTOFIDES, N.; VIOLA, P. The optimum location of multicentres on a graph. *Operations Research Quarterly*, v. 22, n. 2, p. 145-154, 1971.

- COOPER, L. Location-Allocation Problems. *Operations Research*, v.11, n.3, p. 331-343, 1963.
- _____. Heuristics Methods for Location-Allocation Problems, *SIAM Review*, v. 6, p. 37-53, 1964.
- _____. Solutions of Generalized Locational Equilibrium Models. *Journal Regional Science*, v. 7, p. 1-18, 1967.
- COSTA NETO, P. L. *Estatística*. São Paulo: Edgard Blücher, 2002, 266p.
- CRECHE. *Suplementos dos cadernos de pesquisa*. São Paulo, n.43, 47p., nov. 1982.
- DAVIES, O.; THOMAS, E. Facilities Location with Changing Demand Levels. *Geographical Analysis*, v. 8, n. 4, p. 376-393, 1976.
- FARIA, A. L. G. *Educação Pré-Escolar e Cultura*. São Paulo: Cortez: Unicamp, 1999.
- FREITAS, A. A. F. *Modelagem comportamental dos decisores através de técnicas de preferência declarada: uma aplicação no setor imobiliário de Florianópolis*. Florianópolis, 1995. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina.
- GRABOSKI, I.C.K. *Alimentação da criança de 0 a 6 anos*. Araucária. Mimeo, 1996.
- GALVÃO, L.C. *Dimensionamento de Sistemas de Distribuição através do Diagrama Multiplicativo de Voronoi com Pesos*. 2003. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina.
- GARFINKEL, R. S.; NEMHAUSER, G. L. Optimal political districting by implicit enumeration techniques. *Management Science*, v. 16, n. 8, p. B-495-508, 1970.

HODGSON, M. J. The location of public facilities intermediate to the journey to work.

European Journal of Operational Research, v. 6, p. 199-204, 1981.

IBGE. *Censo Demográfico: Paraná*. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: IBGE, 1973.

IBGE. *Censo Demográfico: dados gerais, migração, instrução, fecundidade, mortalidade*. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: IBGE, 1982.

IBGE. *Pesquisa Nacional por amostra de domicílios*. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: IBGE, p.54, 1995.

_____. *Censo Demográfico 1991: resultados do universo relativos às características da população e dos domicílios*. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 586 p.

_____. *Censo Demográfico 2000: resultados preliminares*. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

_____. *Pessoas responsáveis por domicílios, por sexo, segundo as Grandes Regiões*.

www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/perfildamulher/tabela012000.shtm

página consultada em 10/05/2002. (a)

_____. *Mulheres responsáveis por domicílios em números absolutos e relativos*.

<www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/perfildamulher/tabela032000.shtm> página consultada em 10/05/2002. (b)

_____. *Proporção de crianças de 0 a 6 anos de idade, em domicílios com responsáveis mulheres com rendimento até dois salários mínimos, segundo as*

www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/perfildamulher/tabela102000.shtm

página consultada em 10/05/2002. (c)

_____. *Censo demográfico – 2000 – Tabulação avançada – Resultados Preliminares*. www.ibge.net/home/presidencia/noticias/08052002tabulacao.shtm

página consultada em 10/05/2002. (d)

INEP. www.inep.gov.br/censo/default.htm página consultada em 10/10/2000.

KASSOUF, A. L. A demanda de saúde infantil no Brasil por região e setor. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, volume 24, número 2, p.235-260, 1999.

KRAMER, S. *A política do pré-escolar no Brasil: a arte do disfarce*. São Paulo: Cortez, 1992.

KROES, E. P.; SHELDON, R. J. Stated Preference Methods. *Journal of Transport Economics Policy*, v.22, n.1, p.11-20, jan. 1988.

KUHLMANN Jr., M. *Infância e Educação Infantil: uma abordagem histórica*. Porto Alegre: Mediação, 1998.

KUMARAN, V.V Location, use and locational efficiency of health facilities in Madras Neighborhood. *Geographia Medica*, v.13, p. 53-65, 1983.

LARSON, R. C.; ODoni, A. R. *Urban Operations Research*. New Jersey: Prentice-Hall, 1981.

LIMA, F. S.; GONÇALVES, M. B. Logística de Serviços públicos: uma aplicação à distribuição espacial de serviços especializados de saúde: XII ANPET – Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, 1999. São Carlos/ SP. *Anais do XIII ANPET*. São Carlos: ANPET e UFSCAR, 1999, v.I, p. 482-493.

- LIMA, M. L. P.; GONÇALVES, M. B. O uso dos conceitos de taxa marginal de substituição e elasticidade a partir de um experimento de preferência declarada num corredor de transporte de cargas agrícolas. XV ANPET – Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, 2001, Campinas. *Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2001*. ANPET, 2001. V.2, p. 299-307.
- LOBO, D. S. *Localização de unidades de educação infantil: uma aplicação para creches municipais de Florianópolis*. 1998. Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina.
- LOBO, D. S.; GONÇALVES, M. B. Avaliação da localização espacial de unidades de educação infantil: um estudo de caso para Florianópolis – SC. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*. V.9, n.30, p. 123-140, 2001.
- MCALLISTER, D. Equity and Efficiency in Public Facility Location. *Geographical Analysis*, v. 8, n. 1, p. 47-63, 1976.
- MILLER, G.A. The magic number seven plus or minus two: some limits on the capacity for processing information. *Psych. Review*, p. 81-97, 1956.
- MINIEKA, E. The Center and Medians of a Graph. *Operations Research*, v. 25, n. 4, p. 641-650, 1977.
- MURRAY, A. T. Strategic analysis of public transport coverage. *Socio-Economic Planning Science*. v.35, p. 175-188, 2001
- NASCIMENTO, M. E. P. Educação Infantil: a construção de um novo nível de ensino. In: *Situação da educação básica no Brasil*. org. CASTRO, M.H.G. e DAVANZO, A.M.Q. Brasília: INEP, 1999.

- OKABE, A.; BOOTS, B.; SUGIHARA, K. *Spatial tessellations: concepts and applications of Voronoi diagrams*. Chichester: John Wiley & Sons, 1995.
- REVELLE, C.; MARKS, D.; LIEBMAN, J. An analysis of private and public sector location models. *Management Science*, v. 16, n. 11, p. 692-715, 1970.
- REVELLE, C.; SWAIN, R. Central Facilities Location. *Geographycal Analysis*, v. 2, n. 1, p. 30-42, 1970.
- REZENDE, F. A. V. S.; ALMEIDA, R.; NOBRE, F. Diagramas de Voronoi para a definição de áreas de abrangência de hospitais públicos no município do Rio de Janeiro. *Cadernos de Saúde Pública*. v. 16, n. 2, p. 467-475, 2000.
- RIZZO, G. *Educação Pré-Escolar*. 6ª ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1989.
- ROTH, R. Computer Solution to Minimum-Cover Problems. *Operations Research*, v.17, p. 455-465, 1969.
- SANTANA, J. S. *a Creche sob a ótica da criança*. Feira de Santana: Ed. UEFS, 1998.
- SCHMITZ, R. et alli. Avaliação de tempos salvos por usuários de veículos privados. –ANPET - Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, 1999. São Carlos/ SP. *Anais do XIII ANPET*. São Carlos: ANPET e UFSCAR, 1999, v.II, p. 717-727.
- SILVA, M. V. Alimentação na escola com forma de atender às recomendações nutricionais de alunos dos Centros Integrados de Educação Pública. *Cadernos de Saúde Pública*, volume 14, n.1, p.1-25, 1998.

- SILVA, F. S.; CASTELO, L.S.; JULIÃO,C. Efeito da pré-escola sobre o desenvolvimento e o rendimento escolar de crianças de um bairro periférico de Fortaleza. *Educação em Debate*, volume 17, p. 103-117, 1989.
- SILVA, G. G.; PIZZOLATO, N. Avaliação gerencial da localização da rede de ensino público de Niterói - RJ. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*, v. 4, n. 11, p. 129-142, abr./jun. 1996.
- SILVA, H. F.; PIZZOLATO, N. Proposta Metodológica de Localização de Escolas : Estudo do caso de Nova Iguaçu. *Pesquisa Operacional*, volume 14, número 2, p. 1-14, 1993.
- SILVA, H. F.; PIZZOLATO, N. The location of public schools: evaluation of practical experiences. *International Transactions in Operational Research*, v. 4, n.1, p. 13-22, 1997.
- SOUZA, J. C. *Dimensionamento, Localização e Escalonamento de Serviços de Atendimento Emergencial*. 1996. Tese de doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina.
- SOUZA, O. A. *Delineamento experimental em ensaios fatoriais utilizados em preferência declarada*. 1999. Tese de doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina.
- TEITZ, M.; BART, P. Heuristics Methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph. *Operations Research*, v. 16, n. 5, p. 955-961, 1968.
- TORGAS, C.; SWAIN, R.; REVELLE, C. et al. The location of emergency service facilities. *Operations Research*, v. 22, n. 6, p. 1363-1373, 1974.

UNICEF. *About UNICEF: What we do?* www.unicef.org/about/index.html página consultada em 15/10/2000

UNESCO. *Substantive report on early childhood and family education and recommendations on appropriate strategies in this field.* Documento da 29ª Conferência Geral. Paris, 1997.

_____. *Early childhood care education: basic indicators on young children.* Educational Sector, 1995.

_____. *Links between early childhood development and education and primary education.* Educational Sector, monografia número 6, 1996.

UNESCO. *Brasil: Histórico e Funções.* www.unesco.org.br/nomundo/index.html página consultada em 15/10/2000.

WAGNER, J.; FALKSON, L. The Optimal Nodal Location of Public Facilities with Price-Sensitive Demand. *Geographical Analysis*, v. 7, n. 1, p. 69-83, 1975.

WAJNMAN, S.; RIOS-NETO, E. L. G. Participação feminina na população economicamente ativa no Brasil; alternativas para projetos de níveis e padrão. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, volume 24, número 2, p.203-234, 1994.

WALKER, W. Using the Set-Covering Problem to Assign Fire Companies to Fire Houses. *Operations Research*, v. 22, n. 2, p. 275-277, 1974.

WEBER, A. *Über den Standort der Industrien*, Tübingen. Traduzido para o inglês como Alfred Weber's Theory of the Location of Industries, por C. J. Friedrich (1929), University of Chicago Press.

WESOLOWSKY, G.; LOVE, R. The optimal location of new facilities using rectangular distances. *Operations Research*, v. 19. n. 1, p. 124-130, 1971.

ANEXOS

ANEXO 1 – Listagem dos grupos de cartões da pesquisa de preferência declarada.

GRUPO 1

CARTÃO	NÚMERO	ATRIBUTOS
α	1	0 1 0 1 1
β	2	1 0 0 1 1
λ	3	0 1 1 0 0
θ	4	1 0 1 0 0

GRUPO 2

CARTÃO	NÚMERO	ATRIBUTOS
δ	5	0 0 1 1 1
ε	6	1 0 0 1 0
ϕ	7	0 1 0 0 1
η	8	1 1 1 0 0

GRUPO 3

CARTÃO	NÚMERO	ATRIBUTOS
◐	9	0 0 0 1 1
▼	10	0 1 1 1 0
■	11	0 0 0 0 1
➤	12	1 0 1 0 1

GRUPO 4

CARTÃO	NÚMERO	ATRIBUTOS
†	13	0 1 0 1 0
★	14	0 0 1 0 0
✱	15	1 1 1 0 1
♥	16	1 1 0 0 1

GRUPO 5

CARTÃO	NÚMERO	ATRIBUTOS
Ƴ	17	0 0 1 1 0
☉	18	1 0 0 1 1
⌒	19	1 1 0 1 0
↗	20	1 0 0 0 1

GRUPO 6

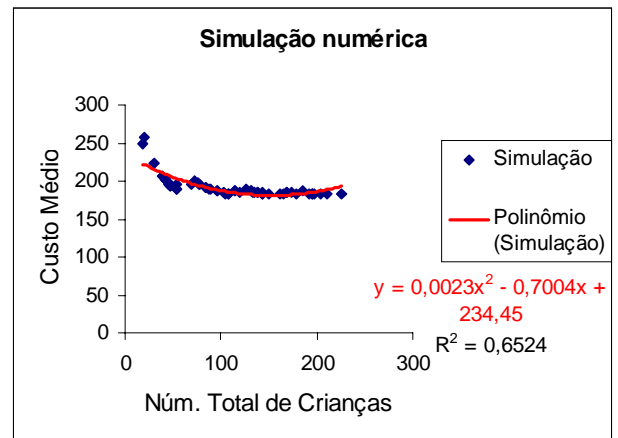
CARTÃO	NÚMERO	ATRIBUTOS
φ	21	0 0 0 1 0
κ	22	1 1 0 1 1
μ	23	0 0 1 0 1
∂	24	1 1 0 0 0

GRUPO 7

CARTÃO	NÚMERO	ATRIBUTOS
π	25	1 1 1 1 0
ρ	26	1 0 1 1 0
Ω	27	0 1 1 0 1
Ψ	28	0 1 0 0 0

ANEXO 2: Resultados obtidos na simulação numérica.

Núm. Criança	Custo Médio	Núm. Criança	Custo Médio
19	249,3	135	185
21	258,3	138	184,6
30	224	138	184,6
39	205,5	144	182,9
42	201,1	144	182,9
42	201,1	144	185,7
42	201,1	150	184
45	197,3	162	182,3
46	196,2	165	184
48	194	168	185,7
48	194	168	185,7
54	188,4	174	184,2
54	195,9	178	183,3
54	188,4	186	187,2
69	196,2	192	183,6
72	199,6	195	182,9
75	197	195	183
77	195,9	198	182,4
78	195,3	204	183,2
84	191,6	210	184
84	191,6	225	184
87	189,9		
89	188,9		
96	187,8		
96	187,8		
102	185,2		
105	184		
108	182,9		
108	182,9		
114	187,8		
114	187,9		
120	185,7		
126	188,4		
132	186,4		
132	186,4		
133	186,1		



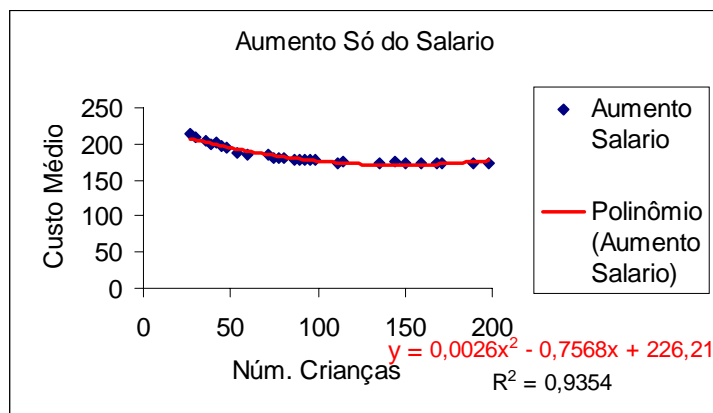
ANEXO 3: Análise da sensibilidade do dimensionamento à variação de valores.

3.1 – Resultados obtido variando apenas os valores de salários.

Núm. Criança Custo Médio

27	215,1
30	208,0
36	204,0
39	199,4
42	201,1
45	197,3
48	194,0
54	188,4
60	184,0
72	184,0
75	179,2
78	180,9
81	179,6
87	177,1
90	178,7
93	177,5
96	179,0
99	177,9
111	174,3
114	175,6
135	174,2
144	175,7
150	172,8
159	174,2
168	172,6
171	172,1
189	173,2
198	171,9

Salário Custo Custo Custo
Limpeza Mat. Ped. Alimentaçã
m2
240 4 6 132



Polinômio

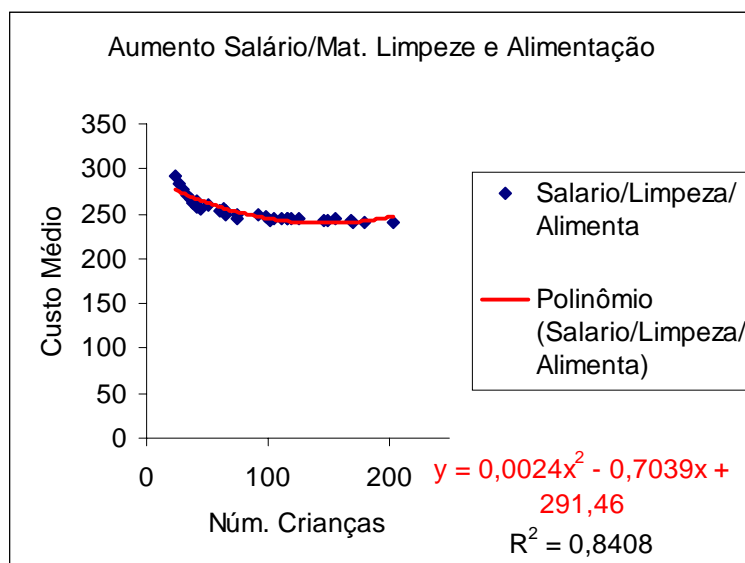
$$0.0026 \cdot x^2 - 0.7568 \cdot x + 226.2$$

Mínimo em

145

3.2 – Resultados obtidos variando os valores de salários, material de limpeza e alimentação.

Num. Crianças	Custo Médio	Salário	Custo Limpeza m2	Custo Mat. Ped.	Custo Alimentação
24	293,0	240	6	6	198
27	284,1				
30	277,0				
33	271,2				
36	266,3				
39	262,2				
42	258,7				
42	264,4				
45	255,7				
51	260,1				
60	253,0				
63	254,9				
66	249,4				
66	253,0				
75	245,0				
75	248,2				
93	249,1				
99	246,9				
102	243,6				
105	245,0				
111	245,4				
117	243,8				
117	245,8				
120	245,0				
126	245,4				
147	242,4				
150	241,8				
156	243,8				
168	241,6				
171	239,7				
180	241,0				
204	240,1				



Polinômio
 $0,0024x^2 - 0,7039x + 291,46$

Mínimo em
147

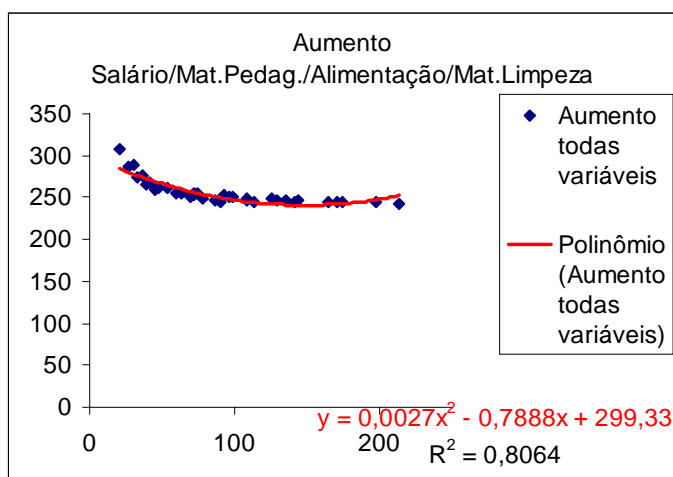
3.3 – Resultados obtidos variando os valores de salários, material de limpeza, material pedagógico e alimentação.

Núm. Criança Custo Médio

21 307,4
27 287,1
30 288,0
33 274,2
36 276,0
39 265,2
42 267,4
45 264,0
45 258,7
48 261,0
54 260,4
60 256,0
63 254,1
69 250,8
72 256,0
72 252,7
75 254,4
78 249,8
87 246,3
90 245,3
90 248,0
93 252,1
96 251,0
99 249,9
108 247,1
108 249,3
114 245,5
126 248,4
129 245,8
135 246,2
141 244,9
144 247,7
165 245,1
171 244,1
174 243,6
198 243,9
213 243,0

Salário Custo Limpeza m2 Custo Mat. Ped. Custo Alimentação

240 6 9 198



Polinômio

Mínimo

em

$0,0027x^2 - 0,7888x + 299,33$

146

ANEXO 4: Listagem do cálculo dos pesos dos setores censitários.

Setor	Proporção Famílias até 2SM	Proporção de chefes analfabetos	Proporção de chefes mulheres	PESO
1	0,1	0,0064516	0,319355	0,425806
2	0,0613027	0,0076628	0,229885	0,298851
3	0,0806452	0,0032258	0,125806	0,209677
4	0,1090909	0,012987	0,176623	0,298701
5	0,2020202	0,020202	0,154882	0,377104
6	0,2120253	0,0063291	0,189873	0,408228
7	0	0	0,2	0,2
8	0,2647059	0,0257353	0,264706	0,555147
9	0,1041667	0,0208333	0,279167	0,404167
10	0,0857988	0,0118343	0,186391	0,284024
11	0,0751634	0,0228758	0,166667	0,264706
12	0,1590909	0,0056818	0,204545	0,369318
13	0,1787879	0,0424242	0,166667	0,387879
14	0,2727273	0,076555	0,167464	0,516746
15	0,0917722	0,0094937	0,265823	0,367089
16	0,4134615	0,0801282	0,169872	0,663462
17	0,1855346	0,0314465	0,166667	0,383648
18	0,2742475	0,0301003	0,183946	0,488294
19	0,1973244	0,0334448	0,19398	0,424749
20	0,2034884	0,0406977	0,19186	0,436047
21	0,3387097	0,1021505	0,177419	0,61828
22	0,2450704	0,056338	0,123944	0,425352
23	0,3853503	0,111465	0,149682	0,646497
24	0,2384259	0,0625	0,208333	0,509259
25	0,3221154	0,0865385	0,144231	0,552885
26	0,2601626	0,0569106	0,089431	0,406504
27	0,2058824	0,0196078	0,17451	0,4
28	0,292887	0,0460251	0,175732	0,514644
29	0,4253247	0,1038961	0,214286	0,743506
30	0,5217391	0,147343	0,152174	0,821256
31	0,41875	0,1125	0,1625	0,69375
32	0,5169492	0,0988701	0,183616	0,799435
33	0,4085213	0,0977444	0,145363	0,651629
34	0,1338583	0,0393701	0,122047	0,295276
35	0,4612676	0,1056338	0,105634	0,672535
36	0,25	0	0	0,25
37	0,3109756	0,0182927	0,140244	0,469512
38	0,4390244	0,0731707	0,121951	0,634146
39	0,4550898	0,0209581	0,182635	0,658683
40	0,0735294	0,0147059	0,044118	0,132353
41	0,368932	0,1067961	0,106796	0,582524
42	0,3489461	0,0351288	0,173302	0,557377
43	1	1	0	2
44	0,2225705	0,0470219	0,194357	0,46395

Setor	Proporção Famílias até 2SM	Proporção de chefes analfabetos	Proporção de chefes mulheres	SOMA
45	0,1577287	0,0504732	0,113565	0,321767
46	0,3380282	0,084507	0,190141	0,612676
47	0,4328859	0,0872483	0,154362	0,674497
48	0,3539519	0,0687285	0,164948	0,587629
48	0,3539519	0,0687285	0,164948	0,587629
49	0,4519774	0,1468927	0,200565	0,799435
50	0,3658537	0,0592334	0,184669	0,609756
51	0,3201581	0,0355731	0,225296	0,581028
52	0,1764706	0,0235294	0,161765	0,361765
53	0,2210526	0,0105263	0,147368	0,378947
54	0,2647975	0,046729	0,258567	0,570093
55	0,2011494	0,0344828	0,152299	0,387931
56	0,2518797	0,0488722	0,146617	0,447368
57	0,4068966	0,0655172	0,189655	0,662069
58	0,6265823	0,1329114	0,162447	0,921941
59	0,2590361	0,060241	0,14759	0,466867
60	0,3844156	0,1038961	0,142857	0,631169
61	0,5581395	0,129199	0,178295	0,865633
62	0,527027	0,1126126	0,198198	0,837838
63	0,5148148	0,0925926	0,125926	0,733333
64	0,6740741	0,2716049	0,153086	1,098765
65	0,6056645	0,1328976	0,130719	0,869281
66	0,4963145	0,1523342	0,149877	0,798526
67	0,3286219	0,1236749	0,144876	0,597173
68	0,4321767	0,0283912	0,135647	0,596215
69	0,4100295	0,0678466	0,19174	0,669617
70	0,494382	0,1460674	0,176966	0,817416
71	0,2932961	0,0837989	0,167598	0,544693
72	0,6749311	0,184573	0,15978	1,019284
73	0,1458774	0,0211416	0,215645	0,382664
74	0,2413793	0,0215517	0,219828	0,482759
75	0,1231884	0,0120773	0,082126	0,217391
76	0,46	0,08	0,173333	0,713333
77	0,4923077	0,0738462	0,172308	0,738462
78	0,4918033	0,1920375	0,173302	0,857143
79	0,4777778	0,1305556	0,097222	0,705556
80	0,6699187	0,1869919	0,143089	1
81	0,8327703	0,2060811	0,116554	1,155405
82	0,8417819	0,2211982	0,158218	1,221198
83	0,6834862	0,1215596	0,238532	1,043578
84	0,5124654	0,0969529	0,246537	0,855956
85	0,6073298	0,1073298	0,204188	0,918848
86	0,6757164	0,1900452	0,152338	1,0181
87	0,5833333	0,1495098	0,178922	0,911765
88	0,5419103	0,0818713	0,167641	0,791423
89	0,5210728	0,1034483	0,141762	0,766284

Setor	Proporção Famílias até 2SM	Proporção de chefes analfabetos	Proporção de chefes mulheres	SOMA
90	0,683391	0,1799308	0,122837	0,986159
91	0,2873239	0,0535211	0,15493	0,495775
92	0,5694716	0,1604697	0,123288	0,853229
93	0,6994819	0,2202073	0,132124	1,051813
94	0,6108374	0,1330049	0,135468	0,87931
95	0,6876457	0,2027972	0,13986	1,030303
96	0,659436	0,2689805	0,16269	1,091106
97	0,7363636	0,2954545	0,186364	1,218182
98	0,7846154	0,1692308	0,107692	1,061538
99	0,6783537	0,1920732	0,135671	1,006098
100	0,6430868	0,1173633	0,099678	0,860129
101	0,5833333	0,1503623	0,106884	0,84058
102	0,7645951	0,2071563	0,118644	1,090395
103	0,5859873	0,1762208	0,144374	0,906582
104	0,54	0,1236364	0,132727	0,796364
105	0,4228856	0,10199	0,159204	0,68408
106	0,3263708	0,0626632	0,130548	0,519582
107	0,4517375	0,0772201	0,166023	0,694981
108	0,4468504	0,0748031	0,149606	0,67126
109	0,597561	0,1243902	0,156098	0,878049
110	0,700495	0,1757426	0,195545	1,071782
111	0,630662	0,0696864	0,139373	0,839721
112	0,5424242	0,1363636	0,084848	0,763636
113	0,6950147	0,1642229	0,121701	0,980938
114	0,4199288	0,0996441	0,124555	0,644128
115	0,4031746	0,0634921	0,219048	0,685714
116	0,3970037	0,071161	0,217228	0,685393
117	0,496875	0,059375	0,171875	0,728125
118	0,6901763	0,1511335	0,183879	1,025189
119	0,726257	0,1284916	0,083799	0,938547
120	0,7613636	0,2272727	0,136364	1,125
121	0,7344229	0,2093973	0,127681	1,071502
135	0,459893	0,1818182	0,037433	0,679144
136	0,6608696	0,0782609	0,021739	0,76087
137	0,8062016	0,3255814	0,077519	1,209302
138	0,75	0,0714286	0	0,821429
139	0,8232044	0,2928177	0,055249	1,171271

ANEXO 5: Resultados das coordenadas das medianas e dos pontos alocados a elas.

Calculo de Medianas

Numero de Medianas: 46

Resultado:

Mediana: Ponto 14 X: 249989.987651 Y 7238696.737005

Nome: 15 Rotulo: 15

Lista de Pontos Alocados

Ponto: 71 X: 249950.909677 Y: 7238923.320065

Nome: 76 Rotulo: 76

Ponto: 16 X: 250335.712013 Y: 7238245.115017

Nome: 17 Rotulo: 17

Ponto: 72 X: 250592.245982 Y: 7239069.959001

Nome: 77 Rotulo: 77

Mediana: Ponto 115 X: 246132.123878 Y 7235584.364485

Nome: 120 Rotulo: 120

Lista de Pontos Alocados

Ponto: 112 X: 247661.505227 Y: 7234764.785997

Nome: 117 Rotulo: 117

Mediana: Ponto 69 X: 248594.941490 Y 7239528.205676

Nome: 74 Rotulo: 74

Lista de Pontos Alocados

Ponto: 117 X: 248335.161297 Y: 7239336.212672

Nome: 135 Rotulo: 135

Ponto: 70 X: 249108.010534 Y: 7239363.236873

Nome: 75 Rotulo: 75

Ponto: 73 X: 249969.233572 Y: 7240389.709426

Nome: 78 Rotulo: 78

Mediana: Ponto 90 X: 257748.139362 Y 7240611.112542

Nome: 95 Rotulo: 95

Lista de Pontos Alocados

Mediana: Ponto 114 X: 246514.469215 Y 7234327.677470

Nome: 119 Rotulo: 119

Lista de Pontos Alocados

Ponto: 113 X: 247898.195198 Y: 7234181.974628

Nome: 118 Rotulo: 118

Mediana: Ponto 99 X: 253742.616781 Y 7233544.524693

Nome: 104 Rotulo: 104

Lista de Pontos Alocados

Mediana: Ponto 43 X: 250665.542113 Y 7235000.728524

Nome: 47 Rotulo: 47

Lista de Pontos Alocados

Ponto: 108 X: 249609.645755 Y: 7234600.870300

Nome: 113 Rotulo: 113

Ponto: 55 X: 251013.696107 Y: 7236082.190678
Nome: 60 Rotulo: 60

Mediana: Ponto 76 X: 252886.891503 Y 7241867.799556
Nome: 81 Rotulo: 81
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 75 X: 253360.271444 Y: 7240884.305371
Nome: 80 Rotulo: 80

Mediana: Ponto 119 X: 254270.617485 Y 7242760.229465
Nome: 137 Rotulo: 137
Lista de Pontos Alocados

Mediana: Ponto 23 X: 252387.988189 Y 7239949.792618
Nome: 25 Rotulo: 25
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 24 X: 253047.648388 Y: 7239546.535543
Nome: 26 Rotulo: 26
Ponto: 74 X: 251375.717074 Y: 7240993.582503
Nome: 79 Rotulo: 79

Mediana: Ponto 94 X: 257711.725520 Y 7237769.907118
Nome: 99 Rotulo: 99
Lista de Pontos Alocados

Mediana: Ponto 95 X: 256528.275667 Y 7235857.557314
Nome: 100 Rotulo: 100
Lista de Pontos Alocados

Mediana: Ponto 109 X: 248371.575139 Y 7234892.275984
Nome: 114 Rotulo: 114
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 111 X: 248043.850564 Y: 7234382.316036
Nome: 116 Rotulo: 116
Ponto: 110 X: 248043.850564 Y: 7234546.231734
Nome: 115 Rotulo: 115

Mediana: Ponto 68 X: 247770.366240 Y 7238978.309666
Nome: 73 Rotulo: 73
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 118 X: 248116.678247 Y: 7239099.445554
Nome: 136 Rotulo: 136
Ponto: 67 X: 248100.196340 Y: 7238226.785118
Nome: 72 Rotulo: 72

Mediana: Ponto 63 X: 249108.010534 Y 7237438.600837
Nome: 68 Rotulo: 68
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 61 X: 248503.322018 Y: 7236778.725624
Nome: 66 Rotulo: 66
Ponto: 57 X: 249657.727919 Y: 7236375.468550
Nome: 62 Rotulo: 62

Mediana: Ponto 4 X: 252772.789972 Y 7238428.413751
Nome: 4 Rotulo: 4
Lista de Pontos Alocados

Ponto: 3 X: 252424.635978 Y: 7238281.774815
Nome: 3 Rotulo: 3
Ponto: 123 X: 253083.980298 Y: 7238188.189392
Nome: 6 Rotulo: 6
Ponto: 5 X: 253139.267861 Y: 7238996.639628
Nome: 5 Rotulo: 5
Ponto: 22 X: 251911.566934 Y: 7238813.340863
Nome: 24 Rotulo: 24

Mediana: Ponto 103 X: 251940.131620 Y 7233781.291812
Nome: 108 Rotulo: 108
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 104 X: 251484.958599 Y: 7233908.781799
Nome: 109 Rotulo: 109
Ponto: 100 X: 252814.063819 Y: 7234291.251760
Nome: 105 Rotulo: 105

Mediana: Ponto 107 X: 250465.371033 Y 7233744.866101
Nome: 112 Rotulo: 112
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 105 X: 251230.061708 Y: 7233471.673272
Nome: 110 Rotulo: 110

Mediana: Ponto 13 X: 249932.586336 Y 7237841.857943
Nome: 14 Rotulo: 14
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 12 X: 250409.007591 Y: 7237585.239804
Nome: 13 Rotulo: 13
Ponto: 15 X: 250005.881913 Y: 7238520.063022
Nome: 16 Rotulo: 16
Ponto: 64 X: 249309.573372 Y: 7238263.444852
Nome: 69 Rotulo: 69

Mediana: Ponto 53 X: 250024.205808 Y 7236412.128284
Nome: 58 Rotulo: 58
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 54 X: 250592.246535 Y: 7236522.107486
Nome: 59 Rotulo: 59
Ponto: 56 X: 250262.416435 Y: 7235660.603736
Nome: 61 Rotulo: 61

Mediana: Ponto 19 X: 251105.315579 Y 7238886.660331
Nome: 21 Rotulo: 21
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 17 X: 250922.076635 Y: 7238501.733123
Nome: 18 Rotulo: 18
Ponto: 20 X: 250812.133268 Y: 7239344.907006
Nome: 22 Rotulo: 22
Ponto: 21 X: 251032.020001 Y: 7239711.504346
Nome: 23 Rotulo: 23

Mediana: Ponto 96 X: 255563.308863 Y 7235802.918748
Nome: 101 Rotulo: 101
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 97 X: 254835.032030 Y: 7236057.898722
Nome: 102 Rotulo: 102

Mediana: Ponto 30 X: 254751.770570 Y 7239803.153681
Nome: 32 Rotulo: 32
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 83 X: 254944.273555 Y: 7240228.642581
Nome: 88 Rotulo: 88

Mediana: Ponto 92 X: 257675.311678 Y 7238808.039869
Nome: 97 Rotulo: 97
Lista de Pontos Alocados

Mediana: Ponto 77 X: 254707.583585 Y 7241794.948135
Nome: 82 Rotulo: 82
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 78 X: 255253.791209 Y: 7242286.695228
Nome: 83 Rotulo: 83

Mediana: Ponto 66 X: 248521.645912 Y 7238318.434453
Nome: 71 Rotulo: 71
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 65 X: 248759.856540 Y: 7238355.094187
Nome: 70 Rotulo: 70
Ponto: 60 X: 248063.549104 Y: 7237493.590438
Nome: 65 Rotulo: 65

Mediana: Ponto 29 X: 254476.912154 Y 7239289.917405
Nome: 31 Rotulo: 31
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 26 X: 254000.490899 Y: 7238904.990198
Nome: 28 Rotulo: 28
Ponto: 85 X: 255308.411972 Y: 7239281.574107
Nome: 90 Rotulo: 90

Mediana: Ponto 27 X: 254055.462582 Y 7239454.886208
Nome: 29 Rotulo: 29
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 25 X: 253670.660799 Y: 7239198.268070
Nome: 27 Rotulo: 27
Ponto: 28 X: 253524.069644 Y: 7239876.473150
Nome: 30 Rotulo: 30

Mediana: Ponto 81 X: 255799.998834 Y 7241157.498200
Nome: 86 Rotulo: 86
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 80 X: 255799.998834 Y: 7242104.566675
Nome: 85 Rotulo: 85

Mediana: Ponto 121 X: 247188.125286 Y 7236567.858670
Nome: 139 Rotulo: 139
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 116 X: 247224.539127 Y: 7237642.417131
Nome: 121 Rotulo: 121

Mediana: Ponto 59 X: 247715.395110 Y 7236082.190678
Nome: 64 Rotulo: 64
Lista de Pontos Alocados

Ponto: 58 X: 248869.800459 Y: 7235642.273869
Nome: 63 Rotulo: 63

Mediana: Ponto 120 X: 255745.378071 Y 7240265.068292
Nome: 138 Rotulo: 138
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 84 X: 256164.137250 Y: 7240428.983989
Nome: 89 Rotulo: 89

Mediana: Ponto 82 X: 255108.135843 Y 7240920.731082
Nome: 87 Rotulo: 87
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 79 X: 255490.481180 Y: 7242195.630951
Nome: 84 Rotulo: 84

Mediana: Ponto 7 X: 252552.903239 Y 7237475.260602
Nome: 8 Rotulo: 8
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 6 X: 252919.381127 Y: 7237731.878741
Nome: 7 Rotulo: 7
Ponto: 9 X: 252021.510300 Y: 7237291.961932
Nome: 10 Rotulo: 10
Ponto: 48 X: 252387.988189 Y: 7236925.364560
Nome: 53 Rotulo: 53
Ponto: 37 X: 253304.182910 Y: 7237145.322964
Nome: 40 Rotulo: 40
Ponto: 49 X: 251746.651884 Y: 7236943.694427
Nome: 54 Rotulo: 54

Mediana: Ponto 87 X: 256218.758013 Y 7238662.337027
Nome: 92 Rotulo: 92
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 86 X: 256182.344171 Y: 7239427.276949
Nome: 91 Rotulo: 91
Ponto: 31 X: 255228.191825 Y: 7238520.062990
Nome: 33 Rotulo: 33

Mediana: Ponto 32 X: 256144.386547 Y 7237970.166980
Nome: 34 Rotulo: 34
Lista de Pontos Alocados

Mediana: Ponto 33 X: 255649.641397 Y 7237493.590438
Nome: 35 Rotulo: 35
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 35 X: 254953.333409 Y: 7237841.857911
Nome: 37 Rotulo: 37

Mediana: Ponto 1 X: 251707.801128 Y 7238043.022339
Nome: 1 Rotulo: 1
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 122 X: 251541.327512 Y: 7238260.808500
Nome: 20 Rotulo: 20
Ponto: 8 X: 251838.271356 Y: 7237676.889140
Nome: 9 Rotulo: 9
Ponto: 2 X: 252113.129773 Y: 7238043.486543
Nome: 2 Rotulo: 2

Ponto: 18 X: 251215.258946 Y: 7238190.125384
Nome: 19 Rotulo: 19
Ponto: 10 X: 251380.173995 Y: 7237530.250203
Nome: 11 Rotulo: 11

Mediana: Ponto 36 X: 254165.405948 Y 7237383.611236
Nome: 38 Rotulo: 38
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 124 X: 253628.445988 Y: 7238024.796446
Nome: 39 Rotulo: 39
Ponto: 34 X: 254880.037831 Y: 7236705.406156
Nome: 36 Rotulo: 36
Ponto: 125 X: 253737.339125 Y: 7236336.402665
Nome: 41 Rotulo: 41

Mediana: Ponto 41 X: 252461.283767 Y 7235843.902406
Nome: 45 Rotulo: 45
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 40 X: 252369.664295 Y: 7236283.819215
Nome: 44 Rotulo: 44
Ponto: 42 X: 251948.214723 Y: 7235348.995997
Nome: 46 Rotulo: 46
Ponto: 126 X: 251722.816076 Y: 7235664.676107
Nome: 50 Rotulo: 50

Mediana: Ponto 46 X: 251673.356306 Y 7236283.819215
Nome: 51 Rotulo: 51
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 45 X: 251050.343896 Y: 7235605.614135
Nome: 49 Rotulo: 49
Ponto: 47 X: 251966.538617 Y: 7236412.128284
Nome: 52 Rotulo: 52
Ponto: 50 X: 251270.230629 Y: 7236852.045092
Nome: 55 Rotulo: 55

Mediana: Ponto 39 X: 252736.142183 Y 7235623.944002
Nome: 43 Rotulo: 43
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 38 X: 253285.859016 Y: 7235880.562140
Nome: 42 Rotulo: 42
Ponto: 101 X: 252741.236136 Y: 7234874.063129
Nome: 106 Rotulo: 106
Ponto: 98 X: 253815.444464 Y: 7235238.320234
Nome: 103 Rotulo: 103

Mediana: Ponto 44 X: 251160.287262 Y 7235275.676529
Nome: 48 Rotulo: 48
Lista de Pontos Alocados
Ponto: 106 X: 251084.406341 Y: 7234364.103181
Nome: 111 Rotulo: 111
Ponto: 102 X: 251976.545461 Y: 7234782.998852
Nome: 107 Rotulo: 107

Mediana: Ponto 93 X: 257001.655608 Y 7238461.995619
Nome: 98 Rotulo: 98
Lista de Pontos Alocados

Ponto: 88 X: 256856.000242 Y: 7239044.806988
Nome: 93 Rotulo: 93

Mediana: Ponto 52 X: 250390.683696 Y 7236943.694427
Nome: 57 Rotulo: 57

Lista de Pontos Alocados

Ponto: 51 X: 250885.428846 Y: 7237017.013895

Nome: 56 Rotulo: 56

Ponto: 62 X: 249804.318522 Y: 7237053.673629

Nome: 67 Rotulo: 67

Ponto: 11 X: 250940.400529 Y: 7237640.229406

Nome: 12 Rotulo: 12

Mediana: Ponto 89 X: 256746.758717 Y 7239864.385476
Nome: 94 Rotulo: 94

Lista de Pontos Alocados

Ponto: 91 X: 257201.931737 Y: 7239481.915515

Nome: 96 Rotulo: 96

Anexo 6: Programa de determinação dos diagramas de Voronoi.

6.1 – Listagem do programa.

Programa do Primeiro Formulários

```
Private Sub Command1_Click()  
    cx1# = Val(x1.Text)  
    cy1# = Val(y1.Text)  
    cx2# = Val(x2.Text)  
    cy2# = Val(y2.Text)  
    tx# = cx2 - cx1  
    ty# = cy1 - cy2  
    prop! = ty / tx  
    'Form2.pic.Height = Form2.pic.Width * prop  
    Form2.Show  
End Sub
```

Programa do Segundo Formulário

```
Private Sub Command1_Click()  
    prop! = ty / tx  
    'MsgBox prop!  
    'prop = InputBox("")  
    Form2.pic.Height = Form2.pic.Width * prop  
    pic.Cls  
    t$ = Form1.Centros.Text  
    nc% = 0  
    A$ = t$  
    Do  
        p% = InStr(A$, ",")  
        If p% = 0 Then Exit Do  
        nc% = nc% + 1  
        A$ = Mid$(A$, p% + 1)  
    Loop  
    ReDim xc#(nc%), yc#(nc%)  
    pic.Scale (cx1#, cy1#)-(cx2#, cy2#)  
    'Exit Sub  
    nca% = nc%  
    nc% = 0  
    A$ = t$  
    Do  
        p% = InStr(A$, ",")  
        nc% = nc% + 1  
        xc(nc%) = Val(Left$(A$, p% - 1))  
        A$ = Mid$(A$, p% + 1)  
        p% = InStr(A$, Chr$(10))  
        If p% > 0 Then  
            yc(nc%) = Val(Left$(A$, p% - 1))  
            A$ = Mid$(A$, p% + 1)  
            If nc% = nca% Then  
                Exit Do  
            End If  
        End If  
    Loop
```

```

Else
    yc(nc%) = Val(A$)
Exit Do
End If
Loop
div% = Val(TXTDiv.Text)
divx# = tx / div%
divy# = ty / div%
X# = cx1#
Y# = cy2#

'p ic.Circle(258208.5, 7245580.6), divx#, vbRed
'p ic.Circle(254237.4, 7243478.1), divx#, vbRed
'pic.Circle (245995.4, 7233150.1), divx#, vbRed
'pic.Circle (250191.3, 7232439.1), divx#, vbRed
'pic.Circle (256822.4, 7235245.7), divx#, vbRed
For i% = 1 To nc%
    pic.Circle (xc(i%), yc(i)), tx / div%
    pic.CurrentX = xc(i)
    pic.CurrentY = yc(i)
    pic.Print i%
    MsgBox ""
Next

ReDim mat%(div%, div%)
i% = 1
j% = 1
Do
    menor# = 9999999999#
    For k% = 1 To nc%
        D# = Sqr((X# - xc(k)) ^ 2 + (Y# - yc(k)) ^ 2)
        If D# < menor# Then
            menor# = D#
            cmp% = k%
        End If
    Next
    mat%(i%, j%) = cmp%
    j% = j% + 1
    If j% > div% Then
        j% = 1
        i% = i% + 1
        If i% > div% Then Exit Do
    End If
    X# = cx1# + 1# * (j% - 1) * divx
    Y# = cy2# + 1# * (i% - 1) * divy
Loop
pic.Cls
For i% = 2 To div% - 1
    For j% = 2 To div% - 1
        valor% = mat(i%, j%)
        valor1% = mat(i% - 1, j% - 1)
        valor2% = mat(i% - 1, j%)
        valor3% = mat(i% - 1, j% + 1)
        valor4% = mat(i%, j% - 1)

```



```

        valor5% = mat(i%, j% + 1)
        valor6% = mat(i% + 1, j% - 1)
        valor7% = mat(i% + 1, j%)
        valor8% = mat(i% + 1, j% + 1)
        If valor1% > valor% Or valor2% > valor% Or valor3% > valor% Or _
            valor4% > valor% Or valor5% > valor% Or valor6% > valor% Or _
            valor6% > valor% Or valor7% > valor% Or valor8% > valor% Then
            X# = cx1# + 1# * (j% - 1) * divx
            Y# = cy2# + 1# * (i% - 1) * divy
            x1# = cx1# + 1# * (j%) * divx
            y1# = cy2# + 1# * (i%) * divy
            pic.Line (X, Y)-(x1, y1), vbRed, BF
        End If
    Next
Next
Exit Sub
End Sub

Private Sub Command2_Click()
    prop! = ty / tx
    Form2.pic.Height = Form2.pic.Width * prop
    pic.Cls
    t$ = Form1.Centros.Text
    nc% = 0
    A$ = t$
    Do
        p% = InStr(A$, ",")
        If p% = 0 Then Exit Do
        nc% = nc% + 1
        A$ = Mid$(A$, p% + 1)
    Loop
    ReDim xc#(nc%), yc#(nc%)
    pic.Scale (cx1#, cy1#)-(cx2#, cy2#)
End Sub

Private Sub pic_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)
    Form2.Caption = Str$(X) + Str$(Y)
    m$ = m$ + Str$(X) + ";" + Str$(Y)
    Close #1
    Open "\\vb\Voronoi\dados.txt" For Append As #1
    Print #1, m$
    Close #1
End Sub

```

6.2 – Tela de entrada de dados do programa para determinação dos diagramas de Voronoi.

The screenshot shows a Windows application window titled "Form1" with a blue title bar and standard window controls (minimize, maximize, close). The main area is a light beige color and contains three input sections:

- Canto superior esquerdo:** Two text boxes. The first contains "245337.103" and is labeled "x1" below it. The second contains "7243674.240" and is labeled "y1" below it.
- Canto inferior direito:** Two text boxes. The first contains "258857.472" and is labeled "x2" below it. The second contains "7232287.811" and is labeled "y2" below it.
- Coordenadas dos Centros (separar x,y):** A list box containing ten pairs of coordinates, each on a new line:
 - 247138.5, 7234517
 - 247138.5, 7235611
 - 247482.6, 7236502
 - 248231.4, 7235915
 - 248535, 7235125
 - 250640, 7233706
 - 251894.9, 7234193
 - 253493.9, 7234132
 - 250559, 7235266
 - 251247.2, 7235510
 - 252603.3, 7235894
 - 251915.1, 7236583

At the bottom center of the window is a button labeled "Mostrar Voronoi".

Anexo 7: Soma dos pesos da mediana e dos setores a ela alocados.

Mediana	Soma Pesos	Mediana	Soma Pesos
1	2,254	73	2,163
4	1,803	74	2,236
8	2,121	81	2,155
14	2,238	82	2,265
15	2,203	86	1,937
21	2,178	87	1,768
25	1,665	92	2,001
29	1,965	94	1,970
31	2,195	95	1,030
32	1,591	97	1,218
34	0,295	98	2,113
35	1,142	99	1,006
38	2,125	100	0,860
43	1,984	101	1,931
45	2,008	104	0,796
47	2,287	108	2,233
48	2,122	112	1,835
51	2,130	114	2,015
57	2,076	119	1,964
58	2,254	120	1,853
64	1,832	137	1,209
68	2,233	138	1,588
71	2,231	139	2,243